



文章编号:1671-251X(2018)05-0020-06

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017120017

矿山分布式分级自治系统设计

李敬兆, 江洋

(安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001)

摘要:针对矿山管理系统对精准开采、异构性、分布性、自治性、数据驱动性等特性的需求,提出了一种基于矿山信息物理融合系统的矿山分布式分级自治系统。该系统由智慧感控层、信息传输层、统一调度层、模型描述层和管控应用层5个层级组成:智慧感控层的感控节点可实现对人、机、环的泛在感知、控制和调节;信息传输层将骨干网络和子网络相结合、有线网络与无线网络相结合,可提高数据传输的可靠性,减少“信息孤岛”的产生;统一调度层可实现系统语义和系统时间的统一,提高了数据利用效率;模型描述层可实现对矿山整体的数字描绘;管控应用层接入矿山应用系统,可降低矿山应用系统的开发难度,提高矿山管理的智慧性。该系统具有可靠性、协同性和自治性,为实现矿山精准开采、无人值守和少人作业提供了技术支撑。

关键词:矿山精准开采;无人值守;矿山管理系统;分布式分级自治;信息物理融合系统

中图分类号:TD67 文献标志码:A

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20180427.0905.001.html>

Design of mine distributed hierarchical autonomous system

LI Jingzhao, JIANG Yang

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology,
Huainan 232001, China)

Abstract: In view of requirements for characteristics of mine management system such as precision mining, heterogeneity, distribution, autonomy and data driving, a mine distributed hierarchical autonomous system based on mine cyber-physical system was proposed. The system is composed of wisdom sensing and control layer, information transmission layer, unified scheduling layer, model description layer and control and application layer. Sensing and control nodes of the wisdom sensing and control layer can realize ubiquitous perception, control and adjustment for human, machine and environment. The information transmission layer not only combines backbone network and sub-network, but also combines wired network and wireless network, so as to improve reliability of data transmission and reduce generation of information isolated islands. The unified scheduling layer can realize unification of system semantics and system time, which improves efficiency of data utilization. The model description layer can realize digital description of overall mine. The control and application layer is accessed to mine

收稿日期:2017-12-08;**修回日期:**2018-04-21;**责任编辑:**盛男。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61170060);安徽省学术和技术带头人学术科研活动资助项目(2015D046);安徽省高等学校优秀拔尖人才资助项目(gxbjZD2016044)。

作者简介:李敬兆(1964—),男,安徽淮南人,教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为物联网、嵌入式系统,E-mail:ljz_aust@126.com。

通信作者:江洋(1991—),男,安徽寿县人,硕士研究生,主要研究方向为物联网、嵌入式系统,E-mail:jiangyang5a@sina.com。

引用格式:李敬兆,江洋. 矿山分布式分级自治系统设计[J]. 工矿自动化,2018,44(5):20-25.

LI Jingzhao,JIANG Yang. Design of mine distributed hierarchical autonomous system[J]. Industry and Mine Automation,2018,44(5):20-25.

application system, which can reduce development difficulty of the mining application system and improve wisdom of mine management. The system has reliability, cooperativity and autonomy, and provides technical support for mine precise mining, unattended work and few people operation.

Key words: mine precision mining; unattended operation; mine management system; distributed hierarchical autonomy; cyber-physical system

0 引言

矿山从开采到运输各工作过程需要大量人员参与,不仅不利于矿山的综合管控,也不利于对矿山工作人员进行安全防护。同时,建设资源节约型社会要求资源开采过程中尽可能减少浪费,精准开采成为矿山管理的重要指标。信息物理融合系统(Cyber-Physical System, CPS)是近十年内提出的一种新型网络控制系统,利用计算、通信和控制等理论与技术,构造一个以感知、分析、决策、执行为过程的闭环反馈系统,实现信息空间和物理空间的深度融合,提高系统可靠性、安全性、协同性、自治性^[1-2]。鉴此,笔者结合矿山管理系统特性^[3-5]和CPS体系结构^[6-12],提出了一种基于矿山CPS的矿山分布式分级自治系统,可实现矿山精准开采,达到无人或少人值守的目的,是未来矿山管理系统发展的趋势之一。

1 矿山管理系统特性需求

- (1) 异构性。矿山中设备组成复杂多样,通信网络种类繁多,这要求矿山管理系统是一个开放的异构系统,能集成多种功能和结构各异的子系统,并通过有线或无线网络将各子系统连接在一起。
- (2) 分布性。矿山的地理环境和功能需求决定了矿山管理系统的组成必然是分布式的,这要求各子系统之间必须进行高实时性和高可靠性的数据交流。
- (3) 自治性。由于矿山开采的危险性和高难度,矿山的无人值守和少人或无人自动化开采势在必行,这要求除了矿山开采设备自动化运行,矿山管理系统整体运营也必须具有智慧性,使得该系统可在少人甚至无人参与下安全可靠地自主运行。
- (4) 数据驱动性。矿山管理系统运行过程中会产生大量实时数据,相对于传统的模型驱动方式,数据驱动方式更符合矿山管理系统的要求,能更有效地运用矿山数据,提高矿山管理系统整体运行效率。

2 矿山分布式分级自治系统体系结构

矿山分布式分级自治系统分为智慧感控层、信息传输层、统一调度层、模型描述层、管控应用层,如图1所示。智慧感控层由各种感控节点组成,感控节点负责感知人、机、环的隐性数据,对数据进行初级处理后上传至系统各类服务器的数据库,同时可通过初级决策运算实现控制功能。信息传输层实现上传下达的功能,既可将智慧感控层的数据或指令上传至统一调度层,也可将统一调度层的数据或指令下达给智慧感控层的指定感控节点。统一调度层以数据为中心进行工作,实现对数据的存储、搜索、调配、管理,处理不同子系统之间因语义不同而造成的“交流不畅”问题,同步系统各部分的时间。模型描述层利用数据库中的数据信息建立物理模型和地理模型,并对其进行模型推理,建立系统的逻辑模型。管控应用层由各种Agent组成,为矿山应用系

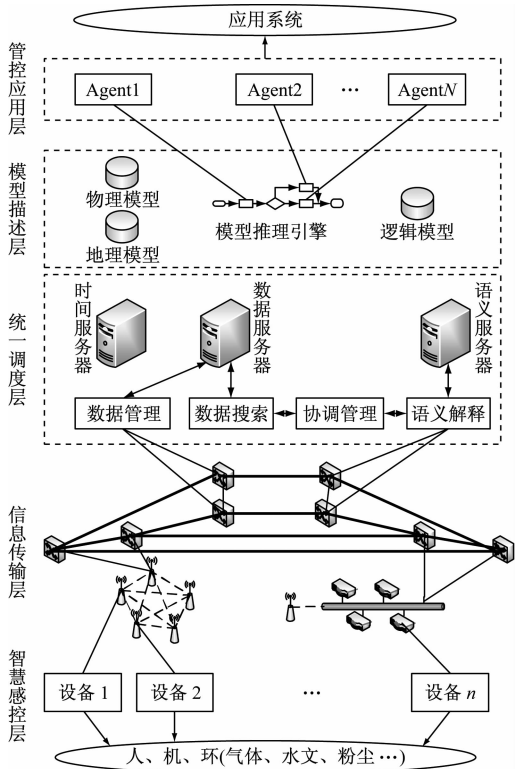


图1 矿山分布式分级自治系统体系结构
Fig. 1 Architecture of mine distributed hierarchical autonomous system

统提供可靠的数据接口,从而实现矿山应用系统对系统底层感控节点的控制操作。

2.1 智慧感控层

智慧感控层由各种感控节点组成,可实现对矿山中人、机、环的感知、控制、调节。感控节点结构如图 2 所示。感控节点工作时,传感器采集相应的人、机、环数据并传送至控制器的模/数转换单元,数据经处理后传送至数据分类单元,数据分类单元提取控制器需要的数据并传送至本地管理单元,本地管理单元为数据添加时间戳并分配存储地址,然后将数据存入本地数据存储器。之后,数据分类单元将全部数据传送至本地协议转换单元进行格式处理,再传送至本地管理单元,本地管理单元为数据分配相应的设备号和时间戳,数据经 CPS 网络通信模块上传至数据服务器,实现数据共享。控制器向数据服务器申请需要的远程数据,同时向本地数据存储器申请本地数据,经过决策处理单元计算后输出控制命令,控制命令经驱动器后由执行器执行。本地时钟通过网络通信自动校准本地时间,使本地时间与系统时间统一。

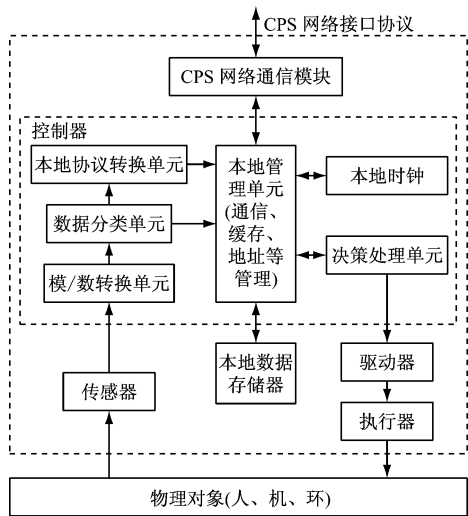


图 2 感控节点结构

Fig. 2 Structure of sensing and control node

2.2 信息传输层

为满足异构性、高可靠性、高传输速度、强抗干扰能力的要求,信息传输层采用骨干网络和子网络相结合、有线网络和无线网络相结合的方式。骨干网络由高速率光纤环网构成,可高效率地完成数据的上传下达任务。在骨干网络中设置冗余光纤网络,当环路中任意网络节点(如环网交换机)或线缆出现故障时,相应的网络节点自动切换至对应的冗余光纤网络节点中,从而保障骨干网络的数据传输

不会受到影响,提高骨干网络节点间的物理连通性和数据传输可靠性。子网络包含各种有线网络和无线网络,各种机电、通信、安全等固定设备通过有线子网络接入骨干网络,一些移动设备、手持设备等通过固定式或移动式无线基站等设备形成的无线子网络连接至骨干网络^[13]。

信息传输层将分布式的矿山异构感控节点有机统一,实现感控节点间的互联互通。为保证信息传输层的通信效率,骨干网络和大分子子网络采用 TCP 协议传输非实时数据,采用 UDP 协议传输实时数据。同时,对于使用厂家自定义网络协议的部分子网络,需通过网关将通信数据包的网络传输层协议转换为 TCP 或 UDP 协议,以实现数据的正确传输。

2.3 统一调度层

统一调度层主要负责远程数据和系统时间的管理,实现智慧感控层感控节点采集数据在不同感控节点的高效利用,减少操作人员对矿山运行的干预,提高矿山管理系统的自治性。

统一调度层作用:① 使智慧感控层中的感控节点通过发布/订阅模式向统一调度层请求其他感控节点的远程数据,从而提高数据利用效率,降低网络尤其骨干网络中数据拥塞情况,将数据快速、准确地发送给智慧感控层中需要的感控节点,减少感控节点因等待数据而浪费的时间。② 由于矿山设备种类繁多,不同设备中定义数据的语义可能不同,统一调度层起到“翻译”的作用,统一不同设备传送数据的语义,避免设备不能准确解读远程数据的情况发生,同时也降低系统的复杂程度。③ 为模型描述层提供数据支持,使模型描述层可高效、动态地修改物理模型和地理模型的参数。

统一调度层工作流程:当统一调度层接收到智慧感控层中感控节点上传的数据时,统一调度层按照数据中的设备号和时间戳将数据存入数据服务器对应的存储单元内,以备操作人员查询,同时向智慧感控层的其他感控节点提供数据共享服务,实现感控节点间的数据互通。当统一调度层接收到智慧感控层中感控节点提交的数据请求信息时,首先根据语义服务器中预先存放的语义信息翻译数据请求信息,然后提取所需数据对应的设备号和时间戳并交给数据搜索器,数据搜索器根据设备号和时间戳在数据服务器中搜索对应的数据,之后协调管理器将数据和对应的设备号、时间戳封装后,根据语义服务器中的语义翻译成对应的信息,并将信息反馈给提

交数据请求的相应感控节点。为保证系统全局时间一致,统一调度层会定时将时间信息广播给智慧感控层的各感控节点,同时根据感控节点时间自动校准的要求,向指定感控节点发送时间信息。

2.4 模型描述层

模型描述层主要包括物理模型、地理模型、逻辑模型和模型推理引擎,如图3所示。

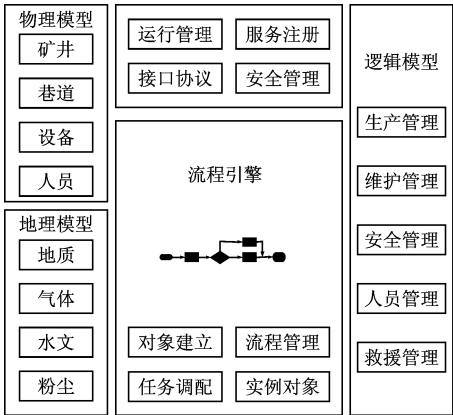


图3 模型描述层结构

Fig.3 Structure of model description layer

(1) 物理模型。矿山一般按级分为矿井、巷道,它们与对应的设备、人员构成了系统面向对象的物理模型库,该模型库与智慧感控层中各感控节点一一对应。

(2) 地理模型。矿山管理系统的地理环境复杂,现有智慧矿山一般采用GIS技术实现矿山的数字描绘。提取矿山的地质、气体、水文、粉尘等地理信息要素来建立地理模型,方便系统实时了解矿山地理信息。

(3) 逻辑模型。逻辑模型是矿山整体信息的数字描绘。通过对物理模型和地理模型进行逻辑推理,建立矿山整体的逻辑模型,实现生产管理、维护管理、安全管理、人员管理、救援管理等,使矿山分布式分级自治系统可根据逻辑模型采取对应的自动操作。

(4) 模型推理引擎。模型推理引擎是一个基于面向服务架构的计算环境,包括运行管理、流程引擎、安全管理、服务注册、接口协议等^[7]。

2.5 管控应用层

管控应用层是一个典型的SOA(Service-Oriented Architecture,面向服务的架构)与多Agent环境,由各种Agent组成,为矿山应用系统提供数据接口,并将相应的数据接入到模型推理引擎中,使矿山应用系统可快速、可靠地接入矿山分布式分级自治系统,实现系统的人机交互、远程控制等功

能。矿山应用系统由具有各种功能的应用软件实现,管控应用层隔绝了矿山应用系统与分布式分级自治系统低层级的直接联系,应用软件开发人员只需根据Agent提供的接口即可开发相应功能的应用软件,从而降低了矿山应用系统应用软件的开发难度。同时,由于管控应用层的存在,应用软件开发人员可根据自身需求自主删减矿山应用系统的组成单元,提高了矿山分布式分级自治系统的自主性^[14]。

3 矿山分布式分级自治系统工作流程

3.1 感控节点工作流程

矿山分布式分级自治系统运行过程中,首先由智慧感控层中的感控节点获取矿山空间中相关数据,包括人员信息、机械设备状态、空间环境等数据,从而将矿山中的隐性数据转变为显性数据。感控节点将显性数据与对应的时间戳、设备号进行匹配,将显性数据进一步处理为对应信息。信息传输层将信息发送到统一调度层,由系统对其进行解析,获取其中的时间戳、设备号和具体数据,再将它们存入对应的数据库中。感控节点上传数据流程如图4所示。

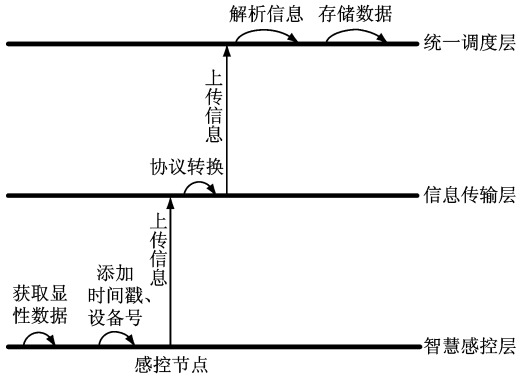


图4 感控节点上传数据流程

Fig.4 Flow of data upload by sensing and control node

智慧感控层中的感控节点可向统一调度层申请订阅数据,其流程如图5所示。感控节点将目标数据的设备号、时间戳通过信息传输层发送至统一调度层;统一调度层根据语义服务器中的内容对数据订阅请求进行“翻译”,之后搜索数据服务器获取目标数据,并发送给感控节点。

3.2 逻辑模型修改工作流程

模型描述层修改逻辑模型流程如图6所示。首先模型描述层周期性地向统一调度层发送请求,调取指定数据库的指定数据;然后统一调度层检索数据库后将数据发送回模型描述层;模型描述层获取数据后先修改物理模型或地理模型,再经过模型推理确定新的逻辑模型。

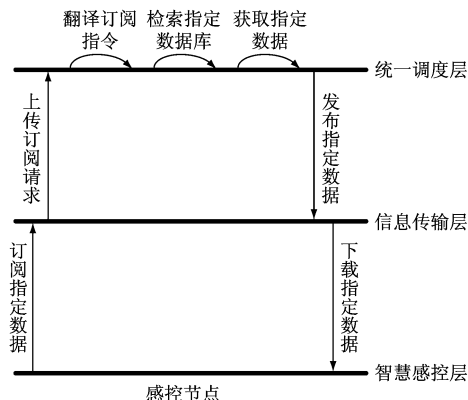


Fig. 5 Flow of data subscription by sensing and control node

通过矿山应用系统可对矿山内设备进行远程控制,并由相关感控节点感知、反馈远程控制执行结果,其流程如图 7 所示。矿山应用系统通过管控应用层对应 Agent 向模型描述层发送控制命令,以修改模型推理引擎的参数,进而修改逻辑模型。之后,

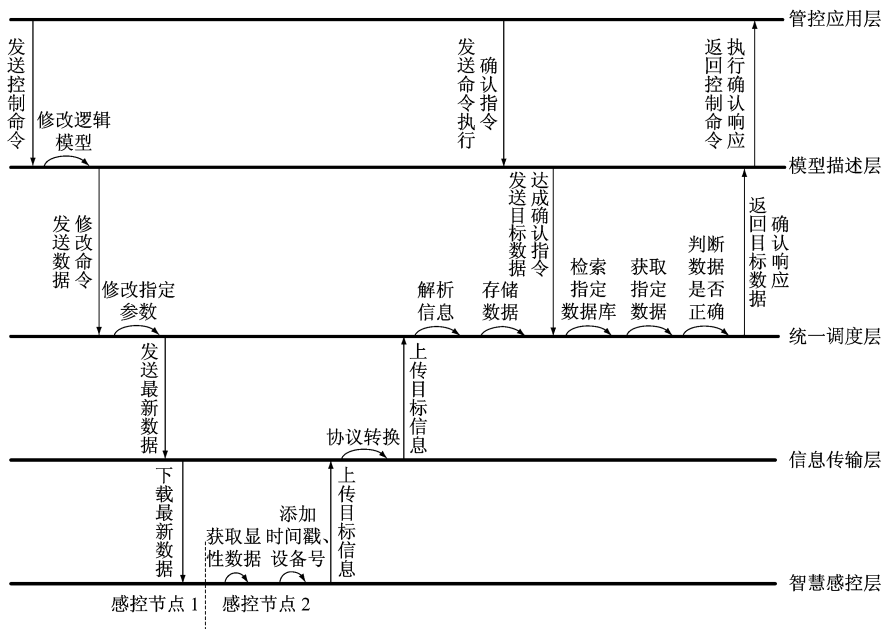


图 7 设备远程控制流程

Fig.7 Flow of device remote control

基于矿山 CPS 的矿山分布式分级自治系统通过智慧感控层的感控节点实现了对人、机、环的泛在感知、控制和调节;通过骨干网络和子网络相结合、有线网络与无线网络相结合的信息传输层提高了数据传输可靠性,减少了“信息孤岛”的产生;通过统一

图 6 逻辑模型修改流程

Fig.6 Flow of logical model modification

模型描述层发送修改命令以修改统一调度层中相关数据库中的指定参数,再由统一调度层将参数发送到指定的感控节点 1,完成指定设备控制目标。矿山应用系统发送控制命令后经过一段时间延迟,通过 Agent 向模型描述层发送命令执行确认指令,进而模型描述层向统一调度层发送目标数据达成确认指令,统一调度层检索指定数据库中指定数据(由感控节点 2 感知并上传的设备运行参数)并判断数据正确性,从而判断系统控制命令是否得到准确执行,然后将结果反馈给矿山应用系统^[15]。

调度层提高了数据利用效率,实现了系统语义和系统时间的统一;通过模型描述层实现了对矿山整体的数字描绘;通过管控应用层接入矿山应用系统,降低了矿山应用系统的开发难度,提高了矿山管理的智慧性。该系统具有可靠性、协同性和自治性,为实现矿山精准开采、无人值守和少人作业提供了技术支撑。

参考文献(References):

[1] 温景容,武穆清,宿景芳. 信息物理融合系统[J]. 自动化学报,2012,38(4):507-517.
WEN Jingrong, WU Muqing, SU Jingfang. Cyber-physical System[J]. Acta Automatica Sinica,2012,38(4):507-517.

[2] 李必信,周颖. 信息物理融合系统导论[M]. 北京:科学出版社,2014.

[3] 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,2014,42(4):79-82.
XU Jing, TAN Zhanglu. Smart mine system engineering and discussion of its key technology[J]. Coal Science and Technology,2014,42(4):79-82.

[4] 孙彦景,于满,何妍君. 煤矿信息物理融合系统模型[J]. 计算机研究与发展,2011,48(增刊2):295-301.
SUN Yanjing, YU Man, HE Yanjun. Modeling of cyber-physical system for coal mine[J]. Journal of Computer Research and Development,2011,48(S2):295-301.

[5] 王莉. 智慧矿山概念及关键技术探讨[J]. 工矿自动化,2014,40(6):37-41.
WANG Li. Study on concept and key technologies of smart mine[J]. Industry and Mine Automation,2014,40(6):37-41.

[6] 刘汉宇,牟龙华. 微电网 CPS 体系架构及其物理端研究[J]. 电力自动化设备,2012,32(5):34-37.
LIU Hanyu, MU Longhua. Architecture of microgrid CPS and research of its physical side[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(5):34-37.

[7] 虞文进,黎勇,徐元根,等. 智慧工厂的信息物理融合系统体系结构设计[J]. 现代电子技术,2017,40(5):151-154.
YU Wenjin, LI Yong, XU Yuangen, et al. Design of cyber-physical system architecture for smart factory[J]. Modern Electronics Technique, 2017, 40(5):151-154.

[8] 聂娟,孙瑞志,曹振丽,等. 精准农业信息物理融合系统的事件模型研究[J]. 农业机械学报,2015,46(1):285-291.
NIE Juan, SUN Ruizhi, CAO Zhenli, et al. Preliminary study on event model in cyber-physical systems for precision agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(1):285-291.

[9] 孙棣华,李永福,刘卫宁,等. 交通信息物理系统及其关键技术研究综述[J]. 中国公路学报,2013,26(1):144-155.
SUN Dihua, LI Yongfu, LIU Weining, et al. Research summary on transportation cyber physical systems and the challenging technologies[J]. China Journal of Highway and Transport,2013,26(1):144-155.

[10] 许亮,刘兰英,李秀喜. 面向化工过程安全运行的信息物理融合系统[J]. 现代化工,2016,36(3):169-172.
XU Liang, LIU Lanying, LI Xiuxi. Cyber-physical system for safe operation of chemical processes[J]. Modern Chemical Industry,2016,36(3):169-172.

[11] XIE Le, KHAN U A. Modeling of future cyber-physical energy systems for distributed sensing and control[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans, 2010, 40(4):825-838.

[12] TAN Ying, GODDARD S, PEREZ L C. A prototype architecture for cyber-physical systems [J]. Acm Sigbed Review,2008,5(1):1-2.

[13] 金枫,吕潇,刘旭. 一种适用于大规模矿井的网络通信架构研究[J]. 有色金属(矿山部分),2017,69(1):1-3.
JIN Feng, LYU Xiao, LIU Xu. A network communication architecture for large-scale underground mine [J]. Nonferrous Metals (Mining Section),2017,69(1):1-3.

[14] 张申. 煤矿自动化发展趋势[J]. 工矿自动化,2013,39(2):27-33.
ZHANG Shen. Development of coal mine automation [J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(2):27-33.

[15] 李敬兆. 感控一体异构融合的矿山物联网应用技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2014.