



移动扫码阅读

屈世甲,武福生,贺耀宜.煤矿安全监测监控体系中边缘计算模式研究[J].煤炭科学技术,2022,50(5): 247-252.
QU Shijia, WU Fusheng, HE Yaoyi. Research on edge computing mode in coal mine safety monitoring and control system[J]. Coal Science and Technology, 2022, 50(5): 247-252.

煤矿安全监测监控体系中边缘计算模式研究

屈世甲^{1,2}, 武福生^{1,2}, 贺耀宜^{1,2}

(1.中煤科工集团常州研究院有限公司,江苏 常州 213015;2.天地(常州)自动化股份有限公司,江苏 常州 213015)

摘 要:针对煤矿现有监测监控体系下井下融合度不高,现场灾害分析和联动处理能力缺乏,无法满足监测监控深度融合需要的问题。对标智慧矿山建设中安全保障方面对监测监控体系的要求,论述了建立深度融合监测监控体系的必要性。分析了边缘计算技术在煤矿监测监控体系中的适用性,提出了建立基于云、边、端三级的煤矿监测监控体系架构,增加“端”侧传感信息的采集和第一级安全分析预警并实现区域联动功能。提出了煤矿监测监控体系中设置两级边缘节点的模式,分析指出边缘网关是当前更为关注的边缘计算节点。结合 EdgeX Foundry 平台架构对智能边缘网关的硬件平台和软件平台设计提出了构想,设计了煤矿安全监控系统边缘网关的整体架构。以煤矿工作面外因火灾为例,分析了现有监测监控体系和基于边缘计算监测监控体系下对火灾信息采集、分析预警和灾变处置的不同流程,将原有的火灾 9 步处理流程优化为 4 步处理流程,分析认为基于边缘计算的监测监控体系在系统井下深度融合、区域安全融合分析和处置方面相比较现有监测监控体系都有一定的优势。
关键词:边缘计算;边缘网关;监测监控;数据分析;火灾监测

中图分类号:TD76 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2022)05-0247-06

Research on edge computing mode in coal mine safety monitoring and control system

QU Shijia^{1,2}, WU Fusheng^{1,2}, HE Yaoyi^{1,2}

(1.CCTEG Changzhou Research Institute, Changzhou 213015, China; 2.Tiandi(Changzhou) Automation CO., Ltd., Changzhou 213015, China)

Abstract: In view of the low degree of underground integration in the existing monitoring and control system of coal mines, the lack of on-site disaster analysis and linkage processing capabilities, and the inability to meet the needs of deep integration of monitoring and control, based on the requirements for the monitoring and control system in the aspect of safety guarantee in the construction of smart mines, the necessity to establish the depth of integration monitoring and control system was put forward. The applicability edge computing technology in the coal mine monitoring and control system was analyzed, and the establishment of a coal mine monitoring and control system based on cloud, edge and end was proposed, and the collection of “end” side sensing information and the first-level security analysis and early warning were added and the regional linkage function was realized. A mode of setting up two-level edge nodes in the coal mine monitoring and control system was proposed, analysis points out that the edge gateway is the edge computing node that is currently more concerned. Combined with the EdgeX Foundry platform architecture, the design of the hardware platform and software platform of the intelligent edge gateway design was put forward, and the overall architecture of the edge gateway of the coal mine safety monitoring system was designed. Taking the fire outside the coal mine face as an example, the different processes of fire information collection, analysis and early warning and disaster disposal under the existing monitoring and monitoring system and the monitoring and monitoring system based on edge computing were analyzed, and the original 9-step fire treatment process was optimized to a 4-step treatment process. The analysis shows that the monitoring and control system based on edge computing has certain advantages compared to the existing monitoring and control system in terms of deep integration of the system, regional safety integration analysis and disposal.

Key words: edge computing; edge gateway; monitoring and control; data analysis; fire monitoring

0 引 言

中华人民共和国安全生产行业标准 AQ 6201—2019《煤矿安全监控系统通用技术要求》在系统设计方面明确了多网、多系统融合的内容,指出系统应有机融合井下有线、无线传输网络,宜与 GIS 技术、人员位置监测、应急广播、移动通信、供电系统、视频监控、运输监控、工作面监控等系统有机融合^[1],在数据应用方面明确应该具有伪数据标注、异常数据分析、瓦斯涌出、火灾预警等大数据应用分析功能^[2]。在多系统融合方面,行业技术较为领先厂家的监控系统大多通过分站的以太网接口、RS485 接口和 CAN 接口接入各对应传感器数据,分站本身的通信链路控制器将各系统数据分配并上传至各自主机,各系统通过主机配置业务间数据之间的关联模型,实现分站级数据融合^[3]。从现有监测监控整个融合架构来看,各系统融合方面,各区域仅仅是将安全监控系统和人员定位系统原有的数据采集分站融合在了一起,变成了一体的数据采集分站,分站级主要实现的是物理层级的融合。在数据应用方面,虽然有些系统共用一台分站采集区域数据,但是并没有实现本地数据的应用分析和关联控制,比如瓦斯超限报警或者火灾报警时实现关联区域人员告警都是通过地面监控系统或者人员定位主机来实现的。

在区域控制方面,中煤科工集团常州研究院有限公司的 KJ95X 安全监控系统在异地断电方面率先采用了边缘计算的处理思路,系统异地断电控制不再基于安全监控系统主机^[4],断电控制事件响应时间不再基于巡检周期,实现了快速异地控制,异地断电时间仅为 5 s,远远小于巡检周期和《煤矿安全监控系统通用技术要求》规定的“异地控制时间应不大于 2 倍最大巡检周期(上限 40 s)”^[1]的标准。可以看出边缘计算对监测监控系统的数据处理、处置能力提升非常明显,但是目前边缘计算在监测监控体系仅仅停留在实现了安全监控系统异地断电的层面,在多系统融合数据分析应用方面还没有深入探究。笔者旨在区域数据利用边缘网关采集、处理的思路下,分析边缘计算在监测监控体系中的适用性和有效性。

1 边缘计算在监测监控体系的适用性

美国韦恩州立大学施巍松教授等^[5-6]定义边缘计算是在网络边缘执行计算的一种新型计算模式,包括了下行的云服务和上行的万物互联服务。中国边缘计算产业联盟(ECC)定义边缘计算为靠近物或数据源头的网络边缘侧^[7],融合了网络、计算、存储和应用等开放平台,并就近提供边缘智能服务,用以满足各行业实时业务、应用智能和安全隐私等方面的基本需求。可以看出边缘计算终端节点不再是完全不负责计算,而是做一定量的计算和数据处理,将处理结果传递到上一级边缘节点^[8]。

王国法院士^[9]在智能化煤矿分类、分级评价指标体系中,将智能化煤矿体系分为 10 个主要智能系统和若干个相关煤矿智能化子系统,其中智能监测监控体系提出要根据灾害监测与评估信息自动制定相应的灾害防治、处置措施,要具有完善的安全风险分级管控工作体系。在安全分级管控方面现有的监测监控系统仅仅实现了瓦斯超限断电等简单功能,急需借助边缘计算模式和架构将区域灾害监测数据采集和部分分析功能下放到煤矿井下边缘节点端实现,使该节点能够脱离矿端主机实现第一级的各灾害分析预警及监测监控系统融合联动问题,如灾害预警后安全监控、人员定位、移动通信和信息发布等系统的联动。

边缘计算中最重要的环节之一就是边缘计算节点的选择,包括不同边缘计算节点的分布层级和边缘计算节点的可靠性问题等^[10]。对现有安全监控、人员定位、无线通信等系统进行分析得出,煤矿监测监控体系中至少需要布置井下区域边缘计算节点(以下称边缘网关)和矿端边缘计算节点(以下称边缘主机)两级,配合云端数据分析、模型训练等云计算平台和工具,形成完整的煤矿监测监控体系架构。云计算配合边缘计算节点的煤矿监测监控体系架构如图 1 所示。

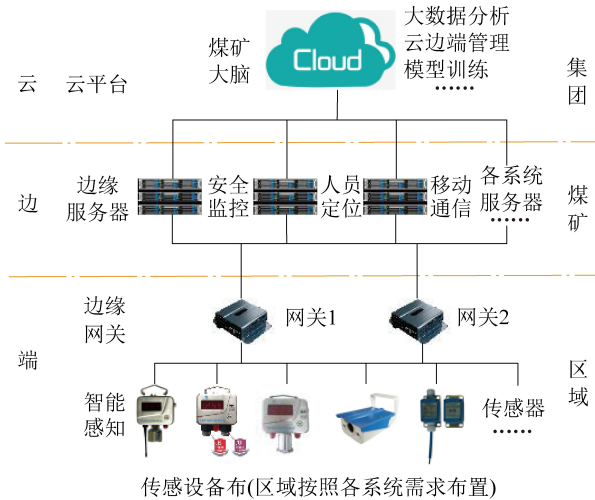


图 1 基于边缘计算的煤矿监测监控系统架构
Fig.1 Coal mine monitoring and control system architecture is calculated based on the edge

由图1可知,相比较现有各类监测监控系统通过获取系统各自对应传感器数据,按《煤矿安全规程》或者《煤矿安全监控系统通用技术要求》由主机进行约定规则判断并下发指令的处理模式,基于边缘计算的监测监控体系最大改变在区域边缘网关的功能转变升级方面,在原有的数据采集和单系统指令下发功能上增加了多系统数据采集和区域融合分析功能。原有的监测监控分站端从数据采集器,命令执行器转变为区域数据采集、分析和控制中心,能够对区域范围内各类监测监控系统数据进行采集、融合分析后下发控制指令。可以看出智能边缘网关在数据分析和控制方面可以不依赖于各系统边缘主机,从数据处理效率和可靠度方面大幅提高了系统区域范围数据分析和处置能力。综合煤矿监测监控现状和智能煤矿发展需求来看,边缘计算非常适合区域数据采集、分析和多系统融合联动等相关应用场景,能够从根本上解决各系统独立处置、监测监控信息孤岛的问题。

2 煤矿边缘节点平台技术需求分析

在基于云、边、端三级的煤矿边缘计算监测监控体系中,边缘节点包含边缘主机和边缘网关2类。边缘主机层面,现有的各系统主机在2018—2019年监控系统升级改造中强调大数据分析功能的推动下,硬件性能得到了极大提升,各主机之间数据交互都是通过地面以太网来实现,已经初步具备了转变为矿端边缘主机节点数据传输和数据分析能力,本节主要讨论煤矿监测监控体系中井下边缘网关的规划和设计问题。

边缘网关计算平台设计方面,选用 EdgeX Foundry 作为边缘网关的总体框架,EdgeX Foundry 是一系列松耦合、开源的微服务集合^[11],一般位于网络的边缘侧,能够与设备、传感器、执行器和其他物联网对象的物理世界进行交互。该平台的目的是为“物联网边缘计算”创建公共开放平台,使其能够实现区域范围不同厂家、不同监测监控系统的融合。平台最大的优点是其良好的互操作性,能够实现即插即用和模块化的物联网边缘计算生态。学者专家在边缘计算网关设计方面,比较关注边缘网关的硬件实现和连接属性^[12-13],强调网关是否能满足设备接入、数据采集传输等需要。作为煤矿井下边缘网关,除区域范围内各系统数据采集、协议转换和数据管理以外,还应该具备边缘端侧的“计算”服务,包括推理决策、协同应用等。因此,在 EdgeX Foundry 平台架构下,智能边缘网关需要明确硬件平台和软

件系统2部分设计需求。

2.1 智能边缘网关硬件平台设计

煤矿智能边缘网关硬件平台主要包括数据传输接口(包括传感器与边缘网关之间数据传输和边缘网关与边缘主机之间的数据传输两类)、边缘侧数据存储能力和边缘侧数据处置分析支撑能力3类。

1)边缘数据传输接口。边缘数据传输接口方面,包括有线传输和无线传输2种,一般来讲,从边缘网关到边缘主机之间的数据传输由于数据量大、系统复杂等问题,选用有线传输为主,煤矿现场宜选用以太网光口或者以太网电口进行边缘节点之间的数据传输。边缘网关与各类传感设备之间,需要兼顾有线传输和无线传输2类。其中有线传输接口主要用来和有线传输类传感设备进行对接,长久以来综合煤矿井下通信距离、抗干扰能力等影响,行业传输分站与传感器之间有线传输已经形成了一些通用标准接口^[14],一般包括 RS485、CAN 和以太网等通信接口。考虑到边缘网关对各类监测监控系统的数据传输问题,需增加 PLC 接口和 MiniPCIe 外扩接口,包括 UART、SPI 和 I²C 等板级通信总线,用于扩展其他必要的有线数据传输。

无线接口方面井下常用的包括 WIFI、蓝牙和 4G 等^[15],考虑到煤矿井下物联网对无线网络传输的应用场景,需要增加高速和低速无线传输接口,在现有的无线通信基础上增加 5G 模块、Zigbee 模块、UWB 无线模块和 LoRa 模块。5G 是蜂窝移动通信技术,数据传输速率高、网络延迟低,能够适应煤矿井下高速控制和传输的无线需求。Zigbee 是一种应用于短距离和低速率下的无线通信技术,在不少人员定位等等系统中已经广泛使用,UWB 无线模块主要用于高精度人员定位系统的数据传输。Lora 能够适应远距离、低功耗、多节点的低速率数据传输,成本低且抗干扰能力强,能够适应未来井下物联网设计中低速通信和小数据量的数据传输。

2)数据存储设计。分析煤矿井下个监测监控系统传输和存储数据量的特点,视频数据量远远大于其他所有系统的数据量总和,比如 100 台安全监控系统传感器每秒钟产生的数据量约为 1 kB,1 台 200 万像素左右的高清摄像机每秒钟产生的数据量不小于 4 096 kB。所以边缘网关在存储设计方面需要按照是否接入高清摄像机来选配。不接入高清摄像仪的情况下,内存应不小于 1 GB,能够支持本地 MicroSD、TF 卡,扩展不小于 32 GB。当接入高清摄像仪的情况下,内存应不小于 8 GB,存储能力应该

能够达到 12 TB,能够满足本地 8~10 路的视频接入数据存储。

3)边缘数据分析支撑硬件。数据分析处理主要是对网关 CPU 配置和算力的分析,对井下区域监测监控数据分析梳理并结合行业智慧矿山体系对监测监控的分析要求^[16],提出智能边缘网关 CPU 应选用达到或超过 1.5 GHz 四核 ARM Cortex A35 CPU 算力超过 15 000 Dmips 的处理器。Arm Cortex-A35 是当前比较高效的 Armv8-A 64-bit 处理器,目标功耗不超过 125 mW,能够满足井下本安智能边缘网关在功耗方面的需求。

2.2 智能边缘网关软件设计

在智能边缘网关软件设计方面推荐使用 GNU/Linux 操作系统^[17],该系统是 UNIX 阵营中应用最为广泛的操作系统之一,其开源、稳定等特征使其广泛应用于嵌入式主机等产品,能够支持多用户、多任务、多线程和多 CPU 的操作系统。Linux 不仅系统性能稳定,而且是开源软件^[18]。Linux 将外围设备分为字符设备、块设备及网络设备,驱动程序开发需遵循标准架构,严格执行“分离与分层”思想,非常适合煤矿井下不同厂家监测监控系统数据的接入和分析处理。基于 EdgeX Foundry 平台的煤矿安全监控系统边缘网关设计架构如图 2 所示。

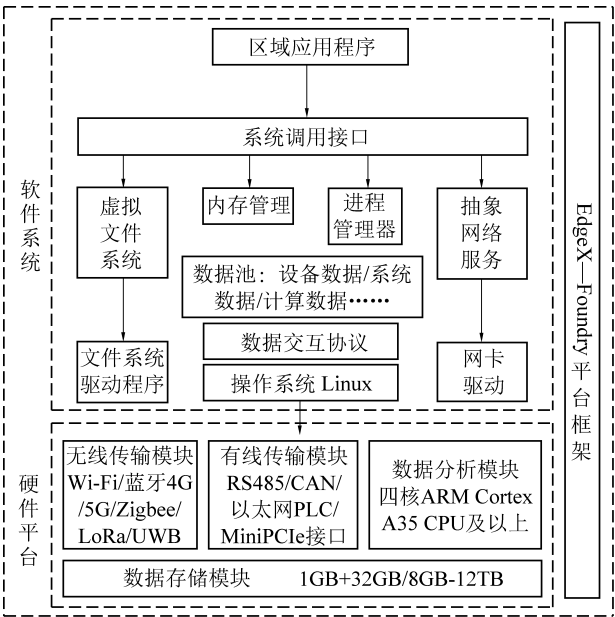


图 2 基于 EdgeX Foundry 平台的边缘网关设计架构

Fig.2 Edge gateway design architecture based on EdgeX Foundry platform

由图 2 可知,煤矿井下边缘网关具备了监测监控系统区域数据采集、存储和分析的功能,应用到监测监控系统中可以解决实际的问题类型,见表 1。

表 1 煤矿井下边缘网关解决问题类型

Table 1 Edge gateway to solve problem of coal mine type

问题类型	解决思路
如何在采集数据不减少的情况下减轻上一级节点端压力?	部署边缘计算网关,将部分存储、计算能力下移
如何降低事故报警、处置延时?	在边缘计算网关中添加业务处理能力
如何解决与上一级节点端网络中断后,事故灾害无法报警、处置问题?	在边缘计算网关中实现命令的发送

3 基于边缘计算的综采工作面火灾处理

以工作面区域外因火灾监测、分析和处置为例,来说明现有监测监控体系与基于边缘计算模式监测监控体系对灾害处理流程的不同。现有监测监控体系的安全分析预警中工作面外因火灾监测点包括安全监控系统中 CO、O₂、CO₂ 等气体以及温度和烟雾等物理量的监测^[19],较为先进的外因火灾监测还配备有基于红外热成像的温度遥测监测和光纤测温温度实时监测^[20],分别属于视频监控系统 and 光纤测温监测系统。

3.1 现有监测监控体系的火灾分析处置

监控系统传感数据上传至分站后经环网上传到监控系统,视频监控和光纤测温直接接入环网交换机经环网上传至视频主机和光纤测温主机。监控系统主机通过信息化手段经地面网络获取工作面对应的红外热像仪温度和光纤测温数据后,利用火灾分析模型对工作面区域火灾进行分析报警。判断工作面区域发生火灾后,监控系统主机需要迅速对接人员定位系统、无线通信系统和信息发布系统,获取发生火灾区域的入井人员信息,通过无线通信迅速将当前火灾态势和最优处置方式下发到区域范围人员携带的便携 PDA、人员定位终端或手机上,同时通过信息发布系统迅速将当前火灾影响范围和实时最优避灾路线通过本安 LED 显示屏在井下现场显示,这个流程是现有监测监控体系下较优的火灾分析、处置方式,其处理流程示意如图 3 所示。由图 3 可知,对于外因火灾从监测到处置完成共需要 9 个步骤,梳理见表 2。

3.2 基于边缘计算的火灾分析处置

基于边缘计算的监测监控体系下,将计算、分析模型下沉,区域数据采集、分析和处理工作都在边缘网关实现,对于工作面外因火灾同样的监测和处置方式下,其处理流程示意如图 4 所示。

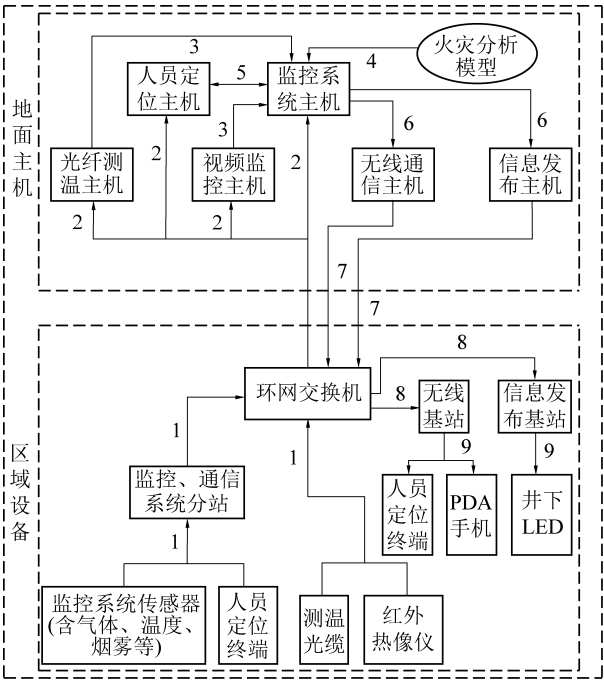


图 3 传统监测监控系统外因火灾处置流程
Fig.3 Traditional monitoring and control system for disposal of external fire flow chart

表 2 传统监测监控火灾处理流程

Table 2 Traditional monitoring monitoring fire treatment process

序号	流程内容解释
1	环境监测数据、人员位置数据、红外热像仪数据、测温光缆数据经分站上传至环网交换机
2	环境监测数据、人员位置数据、红外热像仪、测温光缆数据经环网进入各自主机
3	监控主机经地面网络获取红外热像仪和测温光缆实时数据
4	监控主机借助火灾分析模型发现工作面火灾态势
5	监控主机与人员定位系统通信获取火灾区域人员信息
6	监控主机根据火灾态势和人员信息下发联动指令给无线通信和信息发布主机
7	无线通信和信息发布主机分别按照各子系统需要执行任务下发到环网交换机
8	无线发布基站、信息发布基站分别接收到各子系统主机下发的指令
9	无线发布基站、信息发布基站将指令下发给 PDA、人员定位终端和井下 LED 显示屏

由图 4 可知,基于边缘计算的监测监控系统对于外因火灾从监测到处置完成仅需要 4 个步骤,梳理见表 3。

如上所述,借助工作面外因火灾的监测和处置流程对现有监测监控体系和基于边缘计算的监测监控系统数据传输、分析和处置流程进行了对比,明显

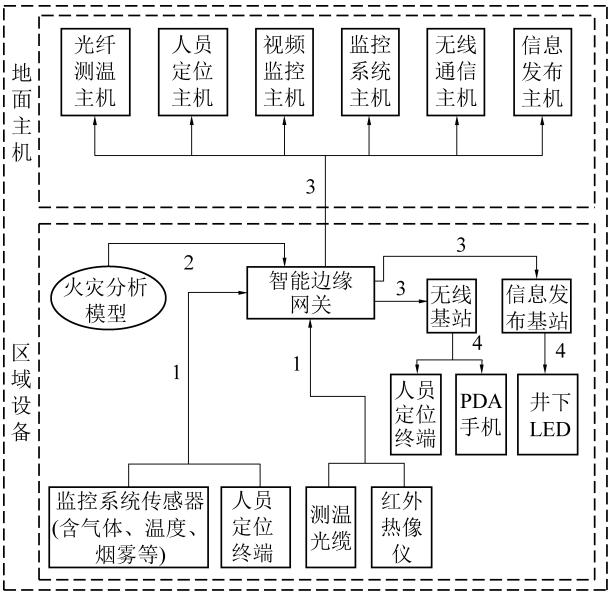


图 4 基于边缘计算的外因火灾处置流程
Fig.4 Flow of external fire disposal based on edge computing

表 3 边缘计算模式火灾处理流程梳理

Table 3 Fire edge computation mode processing process of combing

序号	流程内容解释
1	环境监测数据、人员位置数据、红外热像仪数据、测温光缆数据上传至智能边缘网关
2	边缘网关借助火灾分析模型发现工作面火灾态势
3	边缘网关下发联动指令给无线基站和信息发布基站同时信息上传给各自主机
4	无线发布基站、信息发布基站将指令下发给 PDA、人员定位终端和井下 LED 显示屏

可以看出基于边缘计算的监测监控系统在系统井下深度融合、区域安全融合分析和处置方面,都具有一定的优势,边缘计算有效地提高了区域安全监测、分析和处置的实效性和可靠性。

4 结 论

1)论述了边缘计算模式在煤矿监测监控系统中的可行性问题,首次提出了建立基于云、边、端三级的煤矿监测监控系统架构,提出增加“端”侧传感信息的采集和第一级安全分析预警并实现区域联动功能。

2)提出了煤矿监测监控体系中设置两级边缘节点的模式,分析指出边缘网关是当前更为关注的边缘计算节点。结合 EdgeX Foundry 平台架构对智能边缘网关的硬件平台和软件平台设计提出了构想,设计了煤矿安全监控系统边缘网关的整体架构。

3)以煤矿工作面外因火灾为例,分析了现有监

测监控体系和基于边缘计算监测监控体系下对火灾信息采集、分析预警和灾变处置的不同流程,将原有的火灾9步处理流程优化为4步处理流程。分析认为基于边缘计算的监测监控体系在系统井下深度融合、区域安全融合分析和处置方面相比较现有监测监控体系都有一定的优势,认为边缘计算有效地提高了区域安全监测、分析和处置的实效性和可靠性。

参考文献(References):

[1] AQ 6201—2019.煤矿安全监控系统通用技术要求[S].

[2] 孙继平.AQ 1029—2017《煤矿安全监控系统及检测仪器使用管理规范》(报批稿)[J].工矿自动化,2017,43(6):87-94.
SUN Jiping. AQ 1029-2017 “management specification for coal mine safety monitoring system and testing instruments” (draft for approval) [J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(6): 87-94.

[3] 汪丛笑.煤矿安全监控系统升级改造及关键技术研究[J].工矿自动化,2017,43(2):1-4.
WANG Congxiao. Research on upgrade and reform of coal mine safety monitoring system and key technology [J]. Industry and Mine Automation, 2017, 43(2): 1-4.

[4] 佚名.KJ95X 煤矿安全监控系统[J].工矿自动化,2018,44(9):14.
ANONYMOUS.KJ95X coal mine safety monitoring system [J]. Industry and Mine Automation, 2018, 44(9): 14.

[5] 施巍松,张星洲,王一帆,等.边缘计算:现状与展望[J].计算机研究与发展,2019,56(1):69-89.
SHI Weisong, ZHANG Xingzhou, WANG Yifan, et al. Edge computing: state of the art and future directions [J]. Journal of Computer Research and Development, 2019, 56(1): 69-89.

[6] SHI Weisong, CAO Jie, ZHANG Quan, et al. Edge computing: vision and challenges[J].IEEE Internet of Things Journal, 2016, 3(5):637-646.

[7] 洪学海,汪 洋.边缘计算技术发展对策研究[J].中国工程科学,2018,20(2):20-26.
HONG Xuehai, WANG Yang. Edge computing technology: development and countermeasures [J]. China Engineering Science, 2018, 20(2): 20-26.

[8] 王腾飞,张瑞权,李建宏,等.基于边缘计算的计算即服务模式[J].电子技术应用,2019,45(5):74-77.
WANG Tengfei, ZHANG Ruiquan, LI Jianhong, et al. Computing as a service model based on edge computing [J]. Electronic Technology Applications, 2019, 45(5): 74-77.

[9] 王国法,任怀伟,庞义辉,等.煤矿智能化(初级阶段)技术体系研究与工程进展[J].煤炭科学技术,2020,48(7):1-27.
WANG Guofa, REN Huaiwei, PANG Yihui, et al. Research and engineering progress of intelligent coal mine technical system in early stages [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(7): 1-27.

[10] S Xiao, C Liu, K Li, et al. System delay optimization for Mobile Edge Computing[J].Future Generation Computer Systems, 2020, 109:17-28.

[11] Na W, Lee Y, Dao N, et al. Directional Link Scheduling for Real-Time Data Processing in Smart Manufacturing System[J] IEEE Internet of Things Journal, 2018, 5(5):3661-3671.

[12] 张 仪,杨露霞,张 椅.基于工业物联网的智能网关设计[J].自动化仪表,2018,39(6):43-45.
ZHANG Yi, YANG Luxia, ZHANG Yi. Design of intelligent gateway based on industrial internet of things [J]. Automation Instrumentation, 2018, 39(6): 43-45.

[13] CHEN C, LIN M, LIU C. Edge computing gateway of the industrial internet of things using multiple collaborative microcontrollers [J]. IEEE Network, 2018, 32(1):24-32.

[14] 孙继平.2016年版《煤矿安全规程》监控与通信条款解析[J].工矿自动化,2016,42(5):1-8.
SUN Jiping. Analysis of the monitoring and communication clauses of the 2016 edition of “Coal Mine Safety Regulations” [J]. Industry and Mine Automation, 2016, 42(5): 1-8.

[15] 王雪芬,崔 剑,杨 义,等.用于煤矿设备信息化升级的无线数据传输节点[J].工矿自动化,2019,45(6):37-41,51.
WAN Xuefen, CUI Jian, YANG Yi, et al. A wireless data transmission node for the information upgrade of coal mine equipment [J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(6): 37-41, 51.

[16] 王国法,庞义辉,刘 峰,等.智能化煤矿分类、分级评价指标体系[J].煤炭科学技术,2020,48(3):1-13.
WANG Guofa, PANG Yihui, LIU Feng, et al. Evaluation index system of intelligent coal mine classification and classification [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(3): 1-13.

[17] 张 龙,刘仁学.基于 ARM 平台的嵌入式 Linux 操作系统开发和移植[J].信息与电脑(理论版),2019(8):78-79,82.
ZHANG Long, LIU Renxue. Development and transplantation of embedded Linux operating system based on ARM platform [J]. Information and Computer (Theory Edition), 2019(8): 78-79, 82.

[18] 宛江平.Linux 操作系统的安全技术分析[J].信息与电脑(理论版),2019,31(19):220-221.
WAN Jiangping. Security technology analysis of Linux operating system [J]. Information and Computer (Theoretical Edition), 2019, 31(19): 220-221.

[19] 屈世甲,安世岗,武福生,等.大采高综采工作面采空区自燃“三带”研究[J].工矿自动化,2019,45(5):22-25.
QU Shijia, AN Shigang, WU Fusheng, et al. Study on the “three belts” of spontaneous combustion in goaf of fully mechanized coal mining face with large mining height [J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(5): 22-25.

[20] 屈世甲,武福生.基于边缘计算的采煤工作面甲烷监测模式研究[J].煤炭科学技术,2020,48(12):161-167.
QU Shijia, WU Fusheng. Research on methane monitoring mode of coal mining face based on edge computing [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(12): 161-167.