

“智能矿山建设构思与实践”专栏

文章编号:1671-251X(2021)10-0001-07

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.17850

煤矿 5G 无线通信系统建设构想

顾义东^{1,2}, 孟玮^{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)



扫码移动阅读

摘要:提出了煤矿 5G 无线通信系统的基本架构:5G 核心网、基带处理单元(BBU)、远端汇聚站(RHUB)及 5G 基站之间由 5G 承载网连接,实现各网元之间信令传输;井下采用 5G 基站及天线实现井下无线信号覆盖,基站通过 RHUB 进行汇聚后,与 BBU 相连并接入 5G 核心网。比较了用户面功能/移动边缘计算(UPF/MEC)下沉与独立专网 2 种 5G 核心网建设方案的优缺点;研究了 5G 核心网与 BBU 之间、BBU 与 RHUB 之间、RHUB 与 5G 基站之间的承载网,重点介绍了 5G 核心网与 BBU 之间承载网常用的光纤直连、切片分组网(SPN)及第五代固定网络(F5G)3 种承载方式的特点及适用场景;给出了煤矿 5G 基站、5G 终端及 5G 通信模组等设备的设计方案。结合 5G 通信技术特点和煤矿智能化发展需求,探讨了 5G 无线通信系统在煤矿的典型应用,如融合一体化通信、高带宽业务应用、智能工作面业务应用、矿山车辆远程控制或无人驾驶等。指出小型化行业 5G 核心网设计、矿用 5G 基站等设备的低功耗及本安化设计、700 MHz 频段 5G 设备的井下应用以提升 5G 基站覆盖范围、矿用 5G 手机终端的定制及行业 APP 的开发、低功耗 5G 通信模组的开发、结合现场需求更多行业应用场景的深入挖掘等是煤矿 5G 无线通信系统进一步的优化方向。

关键词:煤矿智能化;煤矿无线通信;5G;5G 核心网;5G 承载网;5G 基站;5G 终端;5G 通信模组
中图分类号:TD655 文献标志码:A

Coal mine 5G wireless communication system construction concept

GU Yidong^{1,2}, MENG Wei^{1,2}

(1. CCTEG Changzhou Research Institute, Changzhou 213015, China;

2. Tiandi(Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213015, China)

Abstract: The basic architecture of 5G wireless communication system in coal mine is proposed: 5G core network, base band unit (BBU), remote radio unit hub (RHUB) and 5G base station are connected by 5G bearer network to realize signaling transmission among network elements. Underground 5G base stations and antenna are used to realize underground wireless signal coverage. After the base stations are converged through a RHUB, they are connected to BBU and connected to the 5G core network. The advantages and disadvantages of two kinds of 5G core network construction schemes are compared, namely user plane function/mobile edge computing (UPF/MEC) sinking and independent private network. This paper studies the bearer networks between 5G core network and BBU, between BBU and RHUB, between RHUB and 5G base station. This study focuses on the characteristics and application scenes of the three

收稿日期:2021-09-18;修回日期:2021-10-15;责任编辑:盛男。

基金项目:天地科技股份有限公司科技创新创业资金专项项目(2020-TD-ZD004,2019-TD-ZD007)。

作者简介:顾义东(1975—),男,江苏金坛人,副研究员,现主要从事矿用通信系统研究工作,E-mail:gu_yidong@163.com。

引用格式:顾义东,孟玮.煤矿 5G 无线通信系统建设构想[J].工矿自动化,2021,47(10):1-7.

GU Yidong, MENG Wei. Coal mine 5G wireless communication system construction concept[J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(10): 1-7.

bearing methods commonly used in the bearer network between the 5G core network and the BBU, namely the optical fiber direct connection, the slicing packet network (SPN) and the 5th generation fixed network (F5G). The design schemes of coal mine 5G base stations, 5G terminals and 5G communication modules are proposed. Combining the characteristics of 5G communication technology and the requirements of coal mine intelligence development, the typical applications of 5G wireless communication systems in coal mines are discussed, such as integrated communication, high-bandwidth service applications, intelligent working face service application, remote control of mining vehicles or unmanned driving, etc. It is pointed out the further optimization directions of the coal mine 5G wireless communication system, including the design of miniaturization industry 5G core network, the low-power and intrinsically safe design of coal mine 5G base stations and other equipment, the underground application of 5G equipment in the 700 MHz frequency band to improve the coverage of 5G base stations, the customization of coal mine 5G mobile terminals and the development of industry APPs, the development of low-power 5G communication modules, industry application scenes in combination with on-site needs, etc.

Key words: coal mine intelligence; coal mine wireless communication; 5G; 5G core network; 5G bearer network; 5G base station; 5G terminal; 5G communication module

0 引言

煤矿智能化建设是煤矿发展的目标,也是煤矿高效、安全、高质量发展的基础支撑。5G 无线通信技术具备高带宽、低时延、广连接等特征,是煤矿智能化建设的关键支撑技术^[1]。王国法等^[2-3]分析了 5G 关键技术及特征,指出了 5G 技术在井下应用的必要性、应用场景的不成熟性,提出了 5G 在煤矿智能化建设中的实施要点。孙继平等^[4-7]对 5G 技术在煤矿智能化建设中的实施进行了探索。霍振龙等^[8]对矿用 5G 无线通信系统的组成、组网方式及应用场景进行了研究。孟庆勇^[9]提出了 5G 网络架构及承载网的 3 种前传组网方案。李艺等^[10]、毛馨凯等^[11]研究了 5G 技术在智能矿山、智能采煤工作面方面的应用。韩利强^[12]设计了基于 5G 技术远程控制的煤矿救援机器人。杨海鹏^[13]进行了基于 5G 网络的智能矿山建设研究。

2021 年 6 月,国家发展改革委、国家能源局、中央网信办、工业和信息化部联合印发《能源领域 5G 应用实施方案》(发改能源〔2021〕807 号),提出了围绕智能煤矿等方面,研制一批满足能源领域 5G 应用特定需求的专用技术和配套产品,拓展一批 5G 典型应用场景,建设一批 5G 行业专网或虚拟专网,为智能煤矿的建设指明了方向。但是,目前 5G 技术在煤矿的应用还处于起步阶段,尚未形成成熟的煤矿 5G 无线通信系统建设及应用方案。本文提出了煤矿 5G 无线通信系统架构、建设、应用等构想,以期推进煤矿智能化建设。

1 煤矿 5G 无线通信系统架构

煤矿 5G 无线通信系统主要由 5G 核心网、基带

处理单元(Base Band Unit, BBU)、远端汇聚站(Remote Radio Unit Hub, RHUB)、5G 基站、信号转换器、本安型 5G 终端及 5G 承载网等构成,如图 1 所示。5G 核心网、BBU、RHUB 及 5G 基站之间由 5G 承载网连接,实现各网元之间信令传输;井下采用 5G 基站及天线实现井下无线信号覆盖,基站通过 RHUB 进行汇聚后,与 BBU 相连并接入 5G 核心网;RHUB 支持链型、星型、混合型组网,并可以级联 2 级, RHUB 与 BBU 之间拉远距离达 10 km。

2 煤矿 5G 无线通信系统建设

2.1 5G 核心网

5G 核心网建设方案分为用户面功能(User Plane Function, UPF)/移动边缘计算(Mobile Edge Computing, MEC)下沉和独立专网 2 种,其优缺点见表 1。

2.1.1 UPF/MEC 下沉

UPF 是 3GPP 5G 核心网的重要组成部分,主要负责 5G 核心网用户面业务数据包的路由和转发、数据和业务识别、动作和策略执行等相关功能。UPF/MEC 下沉是依托于运营商的通信网络,将运营商 UPF 下沉到矿区或矿区移动边缘节点部署,实现数据不出园区、低时延报文转发的 5G 虚拟专网,满足智能煤矿建设所需的带宽高、时延敏感、数据机密性强等业务需求。UPF/MEC 下沉方式 5G 核心网组网架构如图 2 所示。

5G 核心网控制面使用运营商公网部署的 5G 核心网网元,在矿区建设 UPF/MEC。采用 UPF/MEC 下沉方式部署的 5G 虚拟专网使用运营商网络的公共陆地移动网络(Public Lands Mobile

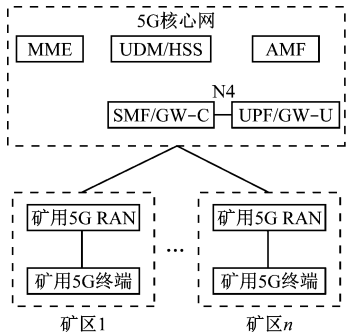


图 3 独立专网方式 5G 核心网组网架构

Fig. 3 Architecture of 5G core network with independent private network mode

2.2 5G 承载网

承载网是连接无线网络、核心网的端到端网络，是移动网络通信的基础。矿用 5G 承载网与地面 5G 承载网前传、中传、后传类似，主要分为 5G 核心网与 BBU 之间、BBU 与 RHUB 之间、RHUB 与 5G 基站之间的承载网。

2.2.1 5G 核心网与 BBU 之间承载网

5G 核心网与 BBU 之间承载网是矿用 5G 通信网络的核心。1 台 BBU 通常可连接多台 RHUB 及几十台 Pico RRU(Remote Radio Unit, 射频拉远单元)，因此，其数据量非常大，承载网接入层带宽需求将达 30 Gbit/s 左右，这需要 10GE 以上的接口^[14]，行业内目前通常采用 10GE 或 50GE 接入设备来完成矿用 5G 核心网与 BBU 之间连接。

目前 5G 核心网与 BBU 之间的承载网主要采用光纤直连、切片分组网(Slicing Packet Network, SPN)和第五代固定网络(The 5th generation Fixed networks, F5G)3 种承载方式。

(1) 光纤直连适用于巷道较简单的矿井，网络规模较小，一般只需 1 台 BBU 及几十台 5G 基站即可满足应用需求。5G 核心网安装于地面机房，BBU 根据现场需要安装于地面机房或井下硐室中。

(2) SPN 是 5G 网络切片中的关键技术，是中国移动在分组传送网(Packet Transport Network, PTN)技术基础上，面向 5G 和政企专线等业务承载需求，融合创新提出的新一代网络技术方案。SPN 采用 ITU-T 层网络模型，以以太网技术为基础，引入新的基于 66B 码块的时分复用(Time Division Multiplexing, TDM)交叉技术，实现了分组和 TDM 的有效融合。SPN 通过 IP、以太网和光学技术的融合，将多层网络功能融为一体，能够满足 5G 高带宽、低时延、超高精度时间同步等网络需求。同时，SPN 支持 FlexE 分片技术，可根据业务对网络的需求进行切片，将带宽需求大、流量抖动大的视频类业务和生产控制类业务、数据采集类业务放在不同的

切片，满足高带宽、低时延等不同业务的承载要求。

井下 SPN 传输带宽达 50/100 Gbit/s，故障保护倒换时间小于 30 ms，SPN 在吞吐量、故障保护倒换时间、切片支持等方面较传统工业环网具备一定的优势，可替代现有传统工业环网及地面办公系统环网，将成为近阶段煤矿 5G 无线通信系统承载网的主流建设方案。但 SPN 存在以下缺点：设备整体功耗较高，通常在 400 W 以上，设备安装于矿用防爆外壳中热量较高，散热设计要求高；由于 SPN 是新技术，目前设备成本较高。

(3) F5G 具备确定性高带宽、海量连接、低时延和零丢包的特点，其由无源分光器和光缆组成，采用 Type C 型环网结构，支持多点断纤保护，对网络中光纤及设备具备端到端保护，网络更可靠。F5G 是纯介质网络，避免了电磁干扰和雷电影响，极适合在煤矿井下之类自然条件恶劣、电磁干扰大的场所使用。目前 F5G 具备 10 Gbit/s 的传输速率及 30 ms 以内的故障保护倒换时间，基本可满足 5G 应用需要。

F5G 建设成本相对 SPN 低，网络可扩展性好、可靠性高，性能指标达到 5G 承载网的基本要求，但该技术尚未有矿井成功应用案例，仍需进一步测试。

2.2.2 BBU 与 RHUB 之间承载网

RHUB 是射频单元集中控制器单元，实现 BBU 与 Pico RRU 之间的桥接。RHUB 与 BBU 及 RHUB 与 Pico RRU 之间采用通用公共无线接口(Common Public Radio Interface, CPRI)协议，用户层数据流、控制管理层数据流、同步数据流均通过 CPRI 接口传输。每台 RHUB 通常可连接 8 台 Pico RRU，为保证每台 Pico RRU 的传输带宽，必须保证 BBU 与 RHUB 之间传输具有足够的带宽。目前 BBU 与 RHUB 之间采用大于 10 Gbit/s 的接口，且只能通过光纤连接，尚无法接入矿用工业以太网。

2.2.3 RHUB 与 5G 基站之间承载网

典型 5G 低频单基站峰值带宽达 5 Gbit/s，高频单基站峰值带宽达 15 Gbit/s。由于我国目前运营的 5G 网络均采用 5G FR1 低频段(即 Sub 6 GHz 频段)，所以现有的矿用 5G 基站都采用 5G 低频段设计。为保证基站无线性能，5G 单基站将需要 2×10GE/25GE 的承载带宽，如果基站配置的参数提升，带宽需求还会相应增加。因此，RHUB 与 5G 基站之间一般也采用 CPRI 接口，接口速率为 25 Gbit/s。目前井下应用中 RHUB 与 5G 基站通过光纤连接，两者之间最大拉远距离通常在 2 km 以内。

2.3 5G 基站

5G 基站是 5G 无线通信系统在井下的主要无

线覆盖设备,目前取得安标认证的矿用5G基站一般由Pico RRU、配套电源、后备电池及配套天线组成,支持1.8/2.3/2.6 GHz或1.8/2.1/3.5 GHz多频并发工作,既可提供高带宽5G NR无线接入,也可兼容4G无线接入,还可为矿井物联网提供广连接、低速率NB-IoT无线接入。矿用5G基站的多模接入为建立井上下一体化通信网络提供了技术基础,井下各类不同应用场景均可通过5G网络提供可靠的信息传输方案。

根据安标国家矿用产品安全标志中心发布的《煤矿5G通信系统安全技术要求(试行)》文件要求,无线设备的发射阇功率应满足GB 3836.1—2010《爆炸性环境 第1部分:设备通用要求》中6.6.1条的规定,基站阇功率应不大于6 W。基站阇功率为每路发射端的最大阇功率之和。目前常用的矿用5G基站具有4个射频端口,每个端口射频输出功率为300 mW,为满足发射阇功率的要求,配套天线增益需在8 dBi以内,在现场使用存在无线覆盖距离较小的问题,该问题需在以后的矿用5G基站设计中重点考虑并予以解决。

2.4 5G终端及通信模组

5G手机、平板、客户前置设备(Customer Premise Equipment, CPE)等5G终端设备及5G NR、CAT1、CAT4、CAT M1、NB-IoT等5G无线通信模组通过无线空口接入5G基站,实现语音通信、数据传输、视频传输等功能,为充分利用5G网络高带宽、低时延、广连接的特性提供设备支持。

在矿用5G终端方面,目前矿用5G手机、矿用CPE等已取得相关煤安认证,具备了井下应用的条件。矿用5G手机以安卓智能手机为主,具备语音通话、视频通话、音视频回传、信息采集、远程控制及行业应用软件安装应用等功能。矿用CPE实现了5G、WiFi及以太网信号的转换,满足井下具备WiFi、以太网接入功能的设备接入5G网络的需求。

5G通信模组是5G网络得以充分发挥其性能的关键,是井下各类设备、传感器接入5G网络的基础。然而,目前矿用5G通信模组的开发及应用仍处于起步阶段,尚未有成熟的应用,积极研究开发各类通信模组,并将其与井下设备、摄像头、传感器相结合,形成丰富多彩的5G+无线终端设备,是当前乃至今后一段时间内5G应用开发的重点。基于目前5G NR通信模组价格仍较高、功耗较大,除高清视频、增强现实(Augmented Reality, AR)/虚拟现实(Virtual Reality, VR)等应用外,通信速率10 Mbit/s的CAT1、通信速率1 Mbit/s左右的CAT M1及通信速率15.625~250 kbit/s的NB-

IoT通信模组由于其技术成熟、价格低、功耗小等优点,应作为目前重点研发方向。

3 煤矿5G无线通信系统典型应用

5G对增强移动宽带(Enhanced Mobile Broadband, eMBB)场景的技术支撑能力,能够有效适应煤矿超高清视频传输等高带宽业务需求;5G对超高可靠低时延通信(Ultra Reliable Low Latency Communications, uRLLC)场景的技术支撑能力,能够有效满足无人采矿车、无人挖掘机等无人矿山智能设备间通信需求;5G对海量机器类通信(Massive Machine Type Communications, mMTC)场景的技术支撑能力,能够更好地支持多种煤矿安全监测等传感数据采集需求。

3.1 融合一体化通信

随着智能煤矿建设的推进,煤矿需要基于5G无线通信系统实现融合调度通信功能,在统一的核心调度平台上实现有线调度、无线调度融合,提升煤矿通信效率和调度水平。因此,在煤矿5G无线通信系统中设计5G融合调度设备,该设备支持ISUP/TUP/PRI/Q. SIG/SIP/H. 323/MGCP/H. 248等多种协议,可支持公网手机和固话、有线调度电话、行政电话、IP电话、4G/5G/WiFi终端、SIP广播终端等设备的接入,使煤矿5G无线通信系统实现有线和无线融合调度通信。同时,上述多种类型终端的接入,形成了井上下语音、数据、视频等多媒体信息的5G综合传输平台,避免各系统自成网络、接口不统一的问题,有效消除信息孤岛的产生,提高矿井通信及信息利用能力。

3.2 高带宽业务应用

借助5G高带宽、低时延的特性,煤矿5G无线通信系统为煤矿提供全环节的高清视频监控服务。在此基础上,通过部署智能图像及视频分析服务器进行人脸识别、生产过程行为识别、生产过程管控等,实时给出分析结果,为煤矿环境监测和安全生产提供智能安全预警;同时可实现煤矿AR智能巡检、AR设备运维、AR生产培训等需要无线高带宽支持的应用。

3.3 智能工作面业务应用

煤矿综采工作面、掘进工作面属于生产移动性场所,光线不足、温度高、粉尘多、湿度大、设备多,工作环境差且危险度大。因此,实现智能化无人开采是智能工作面建设关键。智能化开采需要大量传感数据的支持,采集的信息类型多、数据生成速度快、数据量增长快;同时智能化开采需要对采煤机等设备进行远程实时监测、遥控,对数据传输的实时性、

可靠性要求高。因此智能工作面对传输网络的带宽、时延、可靠性等性能要求高。

通过煤矿 5G 无线通信系统构建的工作面传输通道,一方面能够可靠、准确、实时地满足工作面各类环境指标、设备工况、作业参数和调度指令等数据的井上下双向传输,实现工作面生产过程自动化、操作远程化;另一方面可实现工作面自动监测监控,可远程监测关键设备工况,当设备出现故障时,维修人员会及时收到维修指令进行维修,从而实现智能工作面的少人或无人操作,达到“无人则安”的安全生产目的。

3.4 矿山车辆远程控制或无人驾驶

矿山车辆远程控制或无人驾驶需要大量传感器对车辆速度、位置、周边环境、障碍物等进行识别,将产生大量的车辆数据与云端的实时计算,每小时需要的数据量大概为 100 GB,且由于车辆行驶中需要及时应对路径选择、障碍物规避等决策规划,对数据传输的及时性、可靠性要求极高。5G 支持 eMBB 及 uRLLC 典型应用场景,可实现峰值 1 Gbit/s 传输速率、毫秒级时延的传输能力,可为矿山车辆远程控制或无人驾驶提供可靠的通信保障。

4 结语

煤矿 5G 无线通信系统提供了井上下语音、数据、视频等信息一体化无线高可靠宽带传输平台,支持多种通信终端的接入及互通,为矿井各系统融合及信息综合利用提供了技术支持,为矿井高清视频监控、VR/AR、智能工作面、实时远程控制等行业应用提供了可靠的通信保障,满足井下人-人、人-物、物-物互联的通信需要。但煤矿 5G 无线通信系统的应用尚未得到充分发展,存在以下缺点或难点:① 5G 基站、RHUB 等设备功耗大,只能设计成矿用隔爆型产品,体积大且笨重,安装使用不方便。② 5G 基站及天线射频总功率需小于 6 W,造成覆盖距离小,基站使用数量上升,系统建设成本高。③ 矿用 5G 手机终端匮乏。④ 5G 通信模组价格高且功耗大,尚不具备大规模行业应用的条件。因此,今后应从以下方面进行系统优化:① 小型化行业 5G 核心网设计,支持网络切片功能。② 矿用 5G 基站等设备的低功耗及本安化设计。③ 700 MHz 频段 5G 设备的井下应用,提升 5G 基站覆盖范围。④ 矿用 5G 手机终端的定制及行业 APP 的开发。⑤ 低功耗 5G 通信模组的开发。⑥ 结合现场需求更多行业应用场景的深入挖掘。

参考文献 (References):

[1] 范京道,闫振国,李川. 基于 5G 技术的煤矿智能化开

采关键技术探索[J]. 煤炭科学技术,2020,48(7):92-97.
FAN Jingdao, YAN Zhenguo, LI Chuan. Exploration of intelligent coal mining key technology based on 5G technology[J]. Coal Science and Technology, 2020, 48(7):92-97.
[2] 王国法,赵国瑞,胡亚辉. 5G 技术在煤矿智能化中的应用展望[J]. 煤炭学报,2020,45(1):16-23.
WANG Guofa, ZHAO Guorui, HU Yahui. Application prospect of 5G technology in coal mine intelligence[J]. Journal of China Coal Society, 2020, 45(1):16-23.
[3] 王国法,任怀伟,赵国瑞,等. 煤矿智能化十大“痛点”解析及对策[J]. 工矿自动化,2021,47(6):1-11.
WANG Guofa, REN Huaiwei, ZHAO Guorui, et al. Analysis and countermeasures of ten ‘pain points’ of intelligent coal mine [J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(6):1-11.
[4] 孙继平,陈晖升. 智慧矿山与 5G 和 WiFi6[J]. 工矿自动化,2019,45(10):1-4.
SUN Jiping, CHEN Huisheng. Smart mine with 5G and WiFi6[J]. Industry and Mine Automation, 2019, 45(10):1-4.
[5] 孙继平,张高敏. 矿用 5G 频段选择及天线优化设置研究[J]. 工矿自动化,2020,46(5):1-7.
SUN Jiping, ZHANG Gaomin. Research on 5G frequency band selection and antenna optimization setting in coal mine [J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(5):1-7.
[6] 孙继平. 煤矿智能化与矿用 5G 和网络硬切片技术[J]. 工矿自动化,2021,47(8):1-6.
SUN Jiping. Coal mine intelligence, mine 5G and network hard slicing technology [J]. Industry and Mine Automation, 2021, 47(8):1-6.
[7] 孙继平. 煤矿智能化与矿用 5G[J]. 工矿自动化,2020,46(8):1-7.
SUN Jiping. Coal mine intelligence and mine-used 5G [J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(8):1-7.
[8] 霍振龙,张袁浩. 5G 通信技术及其在煤矿的应用构想[J]. 工矿自动化,2020,46(3):1-5.
HUO Zhenlong, ZHANG Yuanhao. 5G communication technology and its application conception in coal mine [J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(3):1-5.
[9] 孟庆勇. 5G 技术在煤矿井下应用架构探讨[J]. 工矿自动化,2020,46(7):28-33.
MENG Qingyong. Probe on 5G architecture applied in coal mine underground [J]. Industry and Mine Automation, 2020, 46(7):28-33.
[10] 李艺,刘春平,武晓雪. 基于 5G 技术的智能矿山研究

及应用[J]. 中国煤炭,2020,46(11):42-48.

LI Yi, LIU Chunping, WU Xiaoxue. Research and application of 5G technology in intelligent mine[J]. China Coal,2020,46(11):42-48.

[11] 毛馨凯,刘万远. 5G 技术在智能采煤工作面的应用研究[J]. 工矿自动化,2021,47(增刊 1):39-41.

MAO Xinkai,LIU Wanyuan. Research on application of 5G technology in intelligent coal mining face[J]. Industry and Mine Automation,2021,47(S1):39-41.

[12] 韩利强. 基于 5G 技术控制的煤矿救援机器人的设计[J]. 煤矿安全,2021,52(6):168-171.

HAN Liqiang. Design of coal mine rescue robot based on 5G technology control[J]. Safety in Coal Mines, 2021,52(6):168-171.

[13] 杨海鹏. 基于 5G 网络的庞庞塔煤矿智能矿山建设研究[J]. 煤矿现代化,2021,30(4):135-137.

YANG Haipeng. Research on intelligent mine construction of Pangpangta Coal Mine based on 5G network[J]. Coal Mine Modernization,2021,30(4): 135-137.

[14] 赵成祥,曾毅. 5G 承载网网络需求、架构及演进探讨[J]. 邮电设计技术,2018(5):17-20.

ZHAO Chengxiang,ZENG Yi. Discussion on network requirements,architecture and evolution of 5G bearer network [J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications,2018(5):17-20.