

5G 在煤矿行业的创新应用

Innovative Application of 5G in Coal Mine Industry

郭利雅, 王晓刚, 李婵婵, 杨晓虹 (中国联通山西省分公司, 山西 太原 030006)

Guo Liya, Wang Xiaogang, Li Chanchan, Yang Xiaohong (China Unicom Shanxi Branch, Taiyuan 030006, China)

摘要:

煤矿采掘工作面与地面集控中心之间的数据(视频类数据及传感器数据)传输主要依赖于有线网络方案,而井下布放线缆存在走线困难、易遭破坏等缺点。5G的大带宽、低时延、海量连接等重要特性,给矿业领域带来了一种可行的地下无线宽带传输网络方案选择,促使井下产生一些新的应用诉求,反向促使5G的产品方案产生新的变化。阐述了5G和智慧煤矿应用的结合及无线创新方案,该方案同时满足了井下视频回传业务和安全的需求,成功拓展了5G的垂直行业应用。

关键词:

5G; 煤矿; 防爆认证; LightSite

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2020.07.005

文章编号: 1007-3043(2020)05-0020-07

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

The transmission of data (video data and sensor data) between the coal mining face and the ground centralized control center mainly depends on the wired network solution. However, underground cables are difficult to route and easily damaged. 5G's large bandwidth, low delay, massive connection and other important characteristics bring a feasible choice of underground wireless broadband transmission network solutions to the mining industry, which promotes some new application requirements and reversely drives new changes in 5G product solutions. It describes the combination of 5G and smart coal mining applications and innovative wireless solutions. The solution meets the requirements of underground video backhaul services and security, and successfully expands the application of 5G in vertical industries.

Keywords:

5G; Coal mine; Explosion-proof; LightSite

引用格式: 郭利雅, 王晓刚, 李婵婵, 等. 5G 与煤矿行业的创新应用[J]. 邮电设计技术, 2020(7): 20-26.

1 5G 与煤矿行业应用背景

互联网的快速发展以及国家“互联网+”概念的提出,开启了无数行业产业革新的新时代新篇章,煤矿行业也不例外,煤矿行业加快数字化转型,建设智慧矿山将成为发展趋势。

一方面,煤矿数字化转型的过程中,传统的有线通信向有线、无线融合通信升级已成为大势所趋。

同时,煤矿安全生产的重要性越来越突出,以及煤矿产业升级的现实需求,在互联网时代,把“互联

网+”煤矿安全应用到煤矿安全生产管理工作中,建立一个可靠高效的数据采集和信息传输系统显得尤为重要。

另一方面,基于煤矿复杂的工作环境、大型设备的数据监控、视频监控等的要求不断提高,而IPRAN网络在基于IP宽带通信网络之上实现了高带宽无线业务的接入,适应了信息化建设对传输承载网络的需求,实现信息化矿山模式,避免信息孤岛。

针对煤炭工业网络存在的问题,工业互联网产业联盟在《工业互联网网络连接白皮书》中指出:在工业互联网体系架构中,网络是基础,为人、机、物全面互联提供基础设施,促进各种工业数据的充分流动和无

收稿日期: 2020-05-05

缝集成。

工业网络主要承载控制类、采集类和交互类业务,各类业务对网络的性能要求也不相同,如承载控制类业务的网络需要具备低时延、高可靠、高同步精度的能力;承载采集业务的网络需要具备高密度接入、低功耗的能力;承载交互类业务的网络需要具备高传输速率的能力。

图1给出了煤矿的发展历程。伴随着即将到来的工业4.0时代,5G在众多类型边缘网络中,应对工业网络的上述性能要求显得游刃有余,煤炭工业生产环节中需要大量的数据,生产将越来越依赖数据,数据则必须依赖通道,这些工业数据的传输必须有工业级网络的保障。5G网络的大带宽、海量连接和超低时延可靠通信将为工业控制提供必要条件。例如:

a) 智能安控的重要环节靠井下巡检机器人实现,但制约该环节发展的因素是井下距离有限的光纤通信,亟需5G数据网络来支撑。

b) 矿山地下巷道狭窄,信号距离短,电磁干扰强,井下无人驾驶采煤装备亟需5G局域无线网传输数据

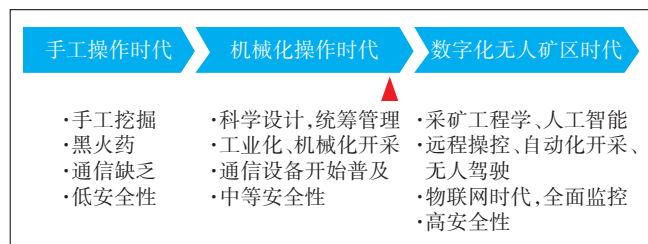


图1 煤矿的发展历程

将实现精准定位。

c) 矿山地下无人驾驶运输车,以高速宽带无线移动通信系统为核心,亟需5G网络对井下行车定位精准导航。

2 煤矿场景应用分析

2.1 煤矿井下交通运输系统应用分析

我国大中型煤矿大都已经建立了煤矿监控系统,不仅有效地提高了采掘面挖煤效率,而且实现了生产、环境以及人员的安全监控,但在井下车辆运输管理上仍存在不少问题,制约着煤矿生产效率的提高。主要原因在于国内煤矿安全监控系统日前使用的传感器存在监测盲区,不能有效地覆盖采区,同时井下通信手段极为有限且效果很差,调度员不能准确掌握现场路况,司机也只能目测前方路况现场扳道,极大地影响了井下运输能力与安全性。

利用5G高可靠性、实时性实现煤矿井下运输及辅助运输系统的定位、通信、管控、调度、导航、路径规划等。优化运输路径,提升运输安全,打造高安全智能化运输系统(见图2)。

2.2 综采工作面应用分析

综采工作面由于设备较多,环境复杂,液压支架、采煤机的运行不容易通过视频进行实时监控,并且液压支架、采煤机、转载机经常需要移动,信号传输线缆较容易断,因此有线视频设备不适合在综采面布设。

综采工作面的4G+5G覆盖实现了液压支架、采煤

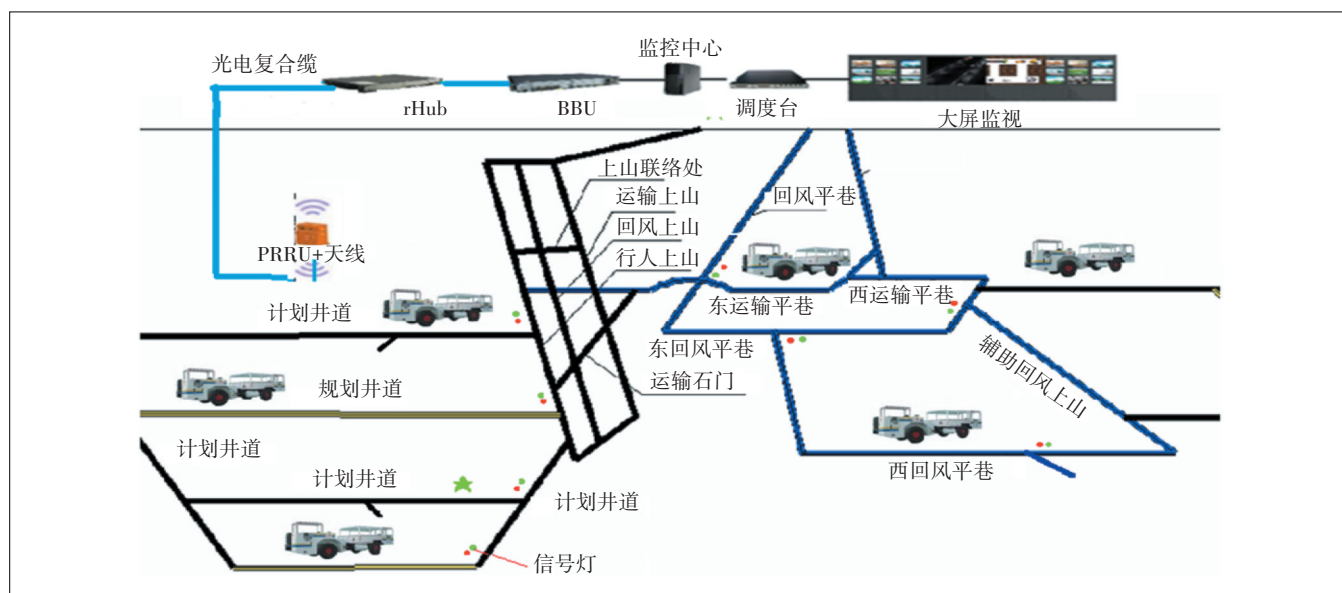


图2 5G在煤矿交通运输系统的应用

机、转载机实时视频传输、工作人员语音通话、工作面设备数据无线采集、视频分发、远程监控、紧急报警等功能,综采自动化的采煤机记忆割煤、液压支架自动跟机、可视化远程监控,实现在地面或顺槽监控和集

中控制;5G单小区接入速率使得更多新联网设备的引入成为了可能(如机器人、5G移动手持设备等)。5G在煤矿综采工作面的应用如图3所示。

2.3 掘进面应用分析

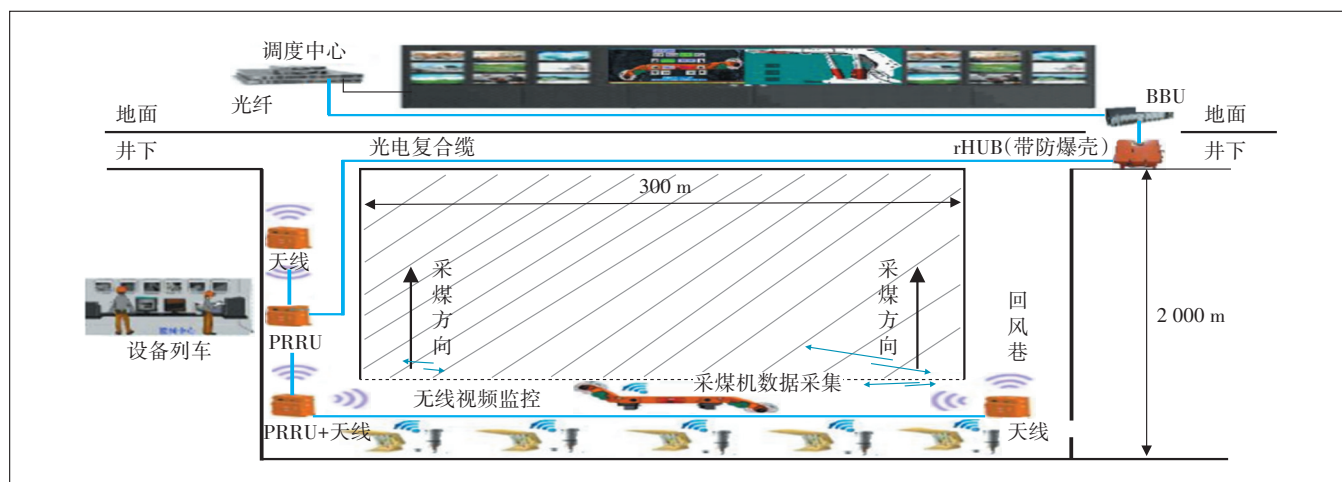


图3 5G在煤矿综采工作面的应用

传统掘进机与操作室采用光纤通信,在工作过程中存在光缆被刮断的现象,造成极大的安全生产隐患。所以在掘进面进行4G+5G无线覆盖,将光纤通信转换为无线通信,满足掘进机在运行过程中数据通信的可靠性及实时性,实现掘进机的远程视频监控和远程遥控。

除了掘进机的远程视频监控和远程遥控等应用以外,5G为锚杆机、破碎机、皮带机等机器视觉高清视频回传、无人驾驶、智能安防、指挥调度、AR现场作业/培训、生产数据统计等应用提供了必要条件。5G在煤

矿掘进面的应用如图4所示。

2.4 井下水泵房、变电所、分散水窝点应用分析

在煤矿井下水泵房、变电所等场所目前基本配套了自动化设备,实现4G+5G无线覆盖,不仅可以作为有线接入网络的补充和备份,还可以为井下自动化系统、数据采集等随时随地通信提供无线通道;水窝点的4G+5G网络接入能够极大地减少众多水窝点的控制工作量,实现水窝点的即装即用,并可以通过无线实现远程遥控,而无需配置大量线缆和人员的手动启停,节省了人员费用和缩短了检修时间。并且该系统

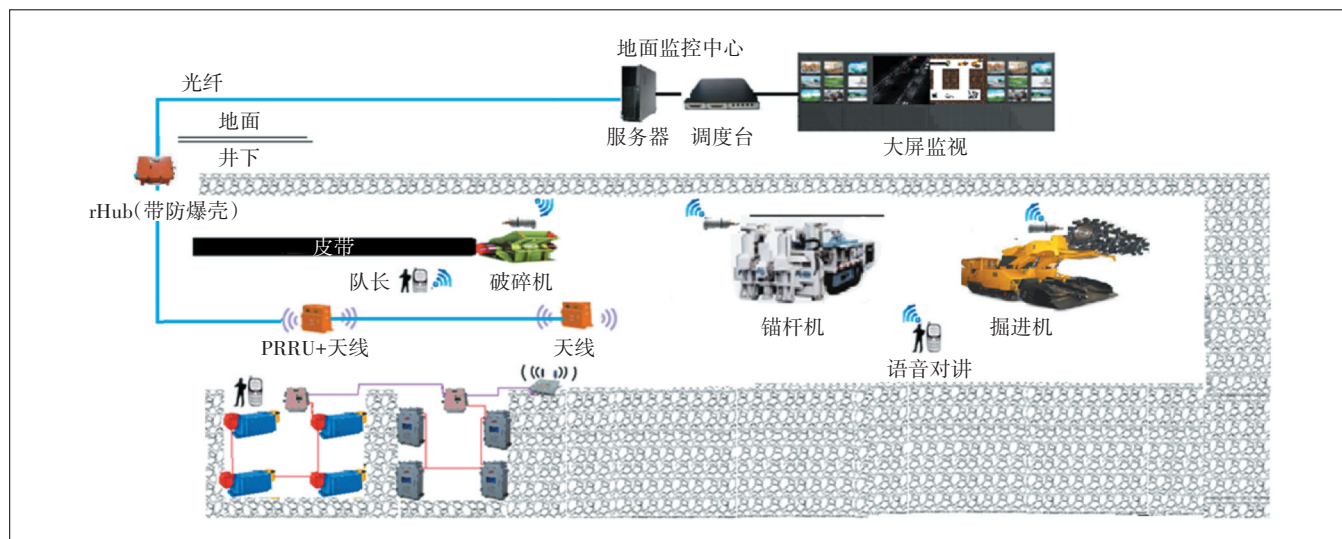


图4 5G在煤矿掘进面的应用

可以配置无线传感器,将水位信息实时地通过无线传输至地面调度室,管理人员或者配套的软件响应机制及时开启水泵,避免发生险情。

IPRAN 环网除了将水泵房、中央变电所、分散水涡点的相关业务无差别承载,也为海量的高速率联网设备 5G 的无线接入提供强大的业务接入/交换能力。

5G 在煤矿井下水泵房、变电所等场所的应用如图 5 所示。

2.5 矿区地面重大设备机房应用分析

矿区地面系统主要有通风机、压风机、挖抽站等大型设备机房,目前相关设备机房都配备有自动控制系统。利用地面 5G 宏站或专门建设的 5G 数字室分系

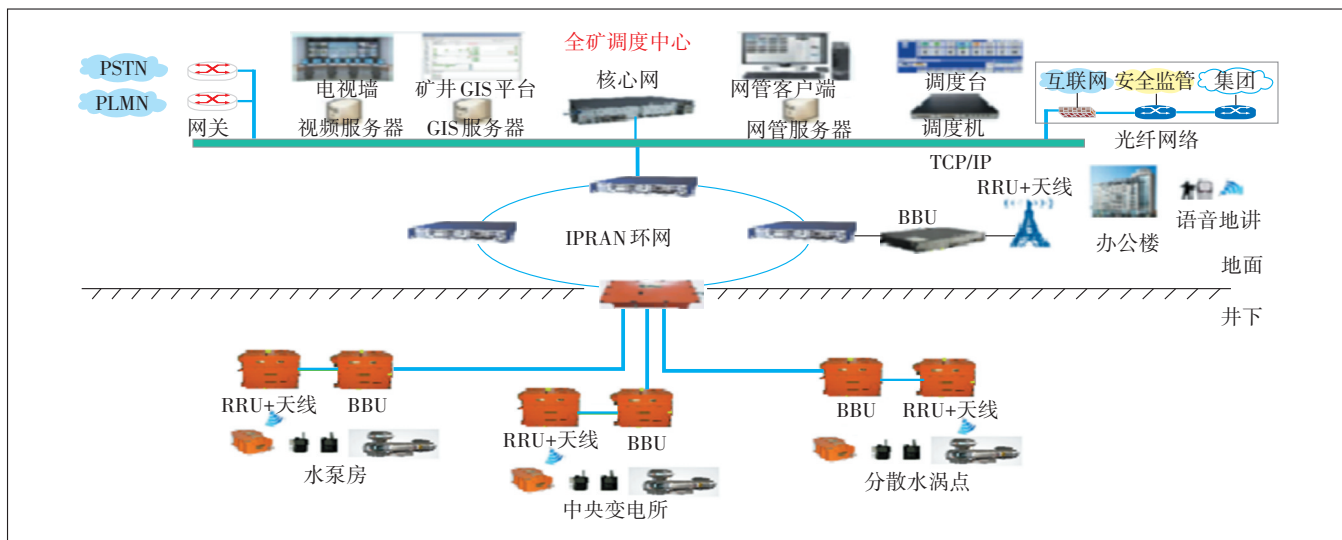


图5 5G 在煤矿井下水泵房、变电所等场所的应用

统,可以将现场数据、控制信令、视频监控进行集成,从而实现无人值守;配合智能巡检机器人的应用,达到增强地面园区安全生产的目的。

3 规划方案及效果

根据国家政策的要求,针对某煤矿建设智能化矿井的需要,本方案使用 5G 基站对该煤矿井上井下自动化和功能区监控等空间进行整体覆盖。

3.1 总体建设思路

新建 IPRAN 骨干环网可实现煤矿厂区内井上办公网络、井上井下视频系统、监测系统(监测系统备用链路,顶板监测系统)、数据上传系统(水泵房数据采集、煤机数据采集、集控 PLC 数据上传)、工业控制系统(皮带控制系统、电力系统控制)、井下防爆电脑上网等现有网络的接入,也承载本期规划新建 5G 网络设备接入。

结合煤炭行业应用的推进和探索,待各垂直行业应用明确对网络的要求,后续有针对性地制定相应网络指标要求。本厂区内 5G 室内覆盖坚持室内外协同原则,做好室内外切换区域设计,保证良好的移动性,同时严控室内信号外泄,降低小区间干扰。利用数字

化室分建设、扩展灵活的特点,进行方案设计和建设时,坚持“按功能区统筹建设方案,按需分区逐步建设”的模式。新建 5G 宏站覆盖对整个地面部分及其他非重点区域进行覆盖。新建 5G 室内网络主要负责井上井下有设备连接自动化和功能区监控等空间性整体覆盖。

设计方案的建设原则及建设思路如下。

- 组网:考虑覆盖系统的高可靠性要求、交付的便利性以及成本控制。
- 覆盖:天线选型合理,控制干扰;专业工具模拟仿真,合理布放天线,保证覆盖。
- 容量:综合场景业务需求,根据 A 煤矿业务需求进行容量规划。
- 性能:合理的高品质室内覆盖建设需区分多流覆盖区域和非多流覆盖区域。
- 小区:根据煤矿井上井下的特点、规划容量、切换区、小区干扰控制等因素合理设置小区。
- 扩容:设计阶段预留扩容余地,方案应具有灵活性以便后期优化调整。

3.2 位置及周边自然环境描述

A 矿井井田面积 51.98 km²,地质储量 8.65 亿吨,可

采储量5.43亿吨,可采煤层7层,各煤层拥有得天独厚的“三高三低”(高挥发分、高发热量、高化学活性、低硫、低灰、低磷)特性,是优质的化工用煤和低温干馏、工业气化及建材工业用煤。煤矿地面区域分为3个部分,生活区、办公区、生产区。生活区包含1栋职工食堂,2栋职工公寓楼,1栋培训中心;办公区包含1栋办公楼,1栋公寓楼;厂区包含1栋35 kW变电站、采集设备间、维修间、器材库房、污水处理、主井机房,3栋仓储、洗煤车间、准备车间及装备中心等。矿井及周边无线环境如图6所示。



图6 矿井及周边无线环境图

3.3 方案制定

3.3.1 A煤矿井上建设方案

A煤矿整体(井上)建设方案分为3个部分,宏站规划方案、地面建筑室内规划方案及传输规划方案。

3.3.1.1 宏站规划方案

宏站站型有64T64R AAU、32T32R AAU、8T8R,未来多种矿区业务(比如井上室外煤矿运输自动驾驶、井上室内多路视频远程监控、井下实时视频回传等)

对上下行速率、时延提出了更高的要求,因此建议室外选择高容量的64T64R AAU覆盖。A煤矿宏站规划表如表1所示。

3.3.1.2 室分规划方案

目前,A煤矿室内覆盖初期没有较为明确的工业应用需求明细,所以目前的覆盖方案以空间性整体覆盖为主(设备连接自动化和厂房监控等后续的连接容量需求未纳入本期室分规划方案),后期会根据实际应用的需求进行容量计算配置。

本期规划重点覆盖区域9处,8处采用数字化室分设备覆盖,1处采用室外宏站覆盖。其中配电室3处,仓储3处,车间2处,快速装车站由室外宏站覆盖,本次计划采用BBU 1台,配置S111;规划RHUB 8台,PRRU 40台。

本期室分规划小区3个,其中主洗车间、主洗车间配电间、35 kW变电所为一个小区;准备车间、电器楼为一个小区;低销仓、产品仓、原煤仓为一个小区;本期规划全部采用4G/5G双模设备(见表2)。

3.3.1.3 传输规划方案

A煤矿H基站为中国联通4G基站,属于拉远站,无传输设备,本次新增分组设备。其余站点均为新增站点。本次规划计划采用48芯光缆在5G宏站之间及其主要线路上,属于园区主干链路。打通了从A煤矿办公楼核心机房出局至园区外全程链路,为以后多业务接入、多运营商、多场景提供了可靠的保障和延续性;拟采用的24芯光缆在室分站点及其园区旁支线路路上,属于园区配线链路。随着“万物互联”的物联网时代到来,及其成熟园区经验,后期各种业务接踵而至,长远考虑建议布放24芯光缆,保障业务的延续性。

表1 A煤矿宏站规划表

小区名	方位角/°	下倾角/°	塔型	天线挂高/m	基站配置	规划制式
A煤矿生产楼	140/260/350	5	楼顶抱杆	35	S111	4G/5G双模
A煤矿办公楼	120/180/330	3	楼顶抱杆	35	S111	4G/5G双模
A煤矿职工培训楼	190/280/330	3	桅杆	25	S111	4G/5G双模
A煤矿	40/100/340	5	角钢塔	35	S111	4G/5G双模

表2 A煤矿室分规划表

场景名称	覆盖方式	制式	小区	面积/m ²	BBU	RHUB
洗车间配电室	数字化室分	5G/4G双模	共用	144	1	0
主洗车间	数字化室分	5G/4G双模	1	3 750	共用	2
准备车间	数字化室分	5G/4G双模	1	3 072	共用	2
电器楼	数字化室分	5G/4G双模	共用	150	共用	0

本次需新建光缆21.9 km,其中24芯为6.4 km,48芯(与大客户业务共用)为15.5 km。为了保障本次网

络的安全,还需传输成环保护(见图7)。

本次需新增设备2端(ATN 980C配置10×10GE板



图7 煤矿新建传输规划图

卡),扩容板卡2块。A煤矿分组设备,纳入到店塔10GE环,有利于集中管理。

3.3.2 A煤矿井下建设方案

井下空间有限,入井设备除考虑必要的矿用隔爆要求外,小型化、低功耗是首选。故优先采用数字化室分方案,例如BBU+RHUB+PRRU&天线,如果空间允许,也可以考虑BBU+RRU+天线的方式。

3.4 创新技术

3.4.1 防爆认证

设备在井下的通信,需要符合国家认证的安全标准,方能在矿井下运行,防爆是安全标准的重要一环。目前按照国标,防爆类型分为本安型、隔爆型、冲油型等等。

针对煤矿的极高安全要求和通信设备信号散热等考虑,要批量化向全国拓展,本安型是唯一选择。本安型不需额外进行壳子改造和加装,只需从电路的安全系数上进行防爆控制,节省硬件成本的同时易于批量化生产。

目前已联合三方伙伴开发出隔爆型的防爆壳,该防爆壳已通过认证。本安型的设备厂家正在研发中。

3.4.2 5G PRRU 外接天线

在无本安型设备之前,受限于防爆壳对PRRU信号的隔离和PRRU近端供电的需求,需要对PRRU进行外接天线改造。

改造完成后,单PRRU与rHub拉远距离由200 m延伸至2 km以上,且可基于井下作业面环境灵活布放天线和接电。5G PRRU改造前后对比如表3和图8所示。

表3 5G PRRU改造前后对比

类型	改造前	改造后
光电复合缆	rHub供电	可近端供电
外接天线	无	有

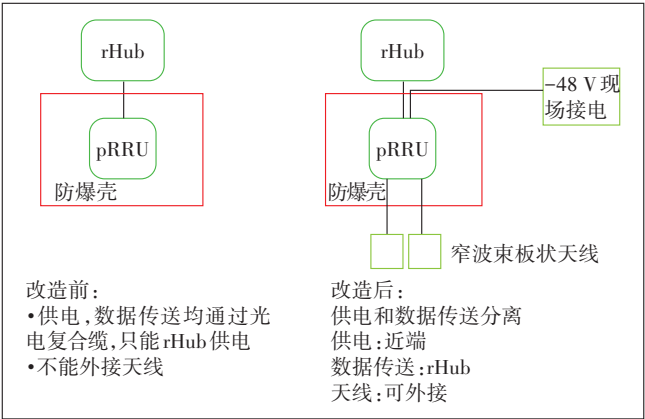


图8 5G PRRU 外接天线改造前后对比

3.4.3 新的时隙配比

目前5G设备仅支持8:2,7:3和4:1这3种时隙配比,5G最大上行速率仅370 Mbit/s。

井下大量实时监控摄像头的布放需求,对小区上行速率提出更高要求,因此对5G设备厂家提出了6:4时隙配比及灵活的时隙配比需求,使小区上行速率可达633 Mbit/s以上,满足大量井下视频监控的带宽需求。

3.5 效果

目前已开通部分区域(中央变电所副斜硐(行人)、主斜井胶带运输机顺槽)的5G基站,对该区域进行测试情况如表4所示。

表4 5G测试结果表

基站部署位置	测试地点	信号强度	峰值速率/(Mbit/s)	设备响应时延/ms
中央变电所副斜硐(行人)	距离基站0 m	5G信号满格	下载:692	21
			上传:105	
	距离基站100 m	5G信号3~5格	下载:280	38
			上传:104	
	距离基站200 m	5G信号2~4格	下载:254	37
			上传:105	
	距离基站300 m	5G信号0~2格	下载:203	37
			上传:84	
主斜井胶带运输机顺槽	距离基站0 m	5G信号满格	下载:680	21
			上传:103	
	距离基站100 m	5G信号3~4格	下载:227	37
			上传:52	
	距离基站200 m	5G信号1~2格	下载:42	21
			上传:23	
	距离基站250 m	5G信号1格	下载:6	38
			上传:5	

测试结果说明:在中央变电所副斜硐(行人)没有明显阻挡物的情况下,距天线300 m处5G信号强度为-110 dBm左右,信号格数在0~2格波动,下载速率为203 Mbit/s左右,上传速率为84 Mbit/s左右,覆盖半径大约为300 m;在主斜井胶带运输机顺槽有较多障碍物阻挡,距天线25 m处5G信号强度为-117 dBm左右,信号格数在0~1格波动,下载速率为6 Mbit/s左右,上传速率为5 Mbit/s左右,覆盖半径大约为250 m。

通过2个场景对比,主斜井胶带运输机顺槽由于障碍物阻挡,覆盖半径明显缩小,而且下载和上传速率的衰减非常严重,因此对于不同的无线环境,信号的衰减相差比较多,后期通过规划和优化方案来改善。同时5G基站的高速率和低时延足以满足当前的煤矿的智能化要求。

4 总结

本次某煤矿采用多模基站,应用5G低时延、大带宽的性能在自动化、智能化控制的区域开通5G网络;在其他区域开通4G网络。测试结果显示矿用5G混合组网无线系统集合了第4代和第5代移动通信技术的优点,可以提供最高的无线接入数据速率,1 GHz的数据带宽,可实现上行数据峰值速率100 Mbit/s,下行数据峰值速率600 Mbit/s。高速的数据业务可满足井下移动互联网的各种业务需求。随着5G技术商用步伐加快,万物互联时代的日新月异,采矿业也迎来新的

革命,安全化、自动化、智慧化、无人化成为采矿业发展的趋势。把5G相关技术应用于矿山行业,应用于矿业开采,实现井下、井上无缝对接,助力于无人采矿设备的运行,从而实现无人矿山、自动矿山,可以从根本上避免人员伤亡,这已逐步成为现实。当前,探索发掘、推广普及5G典型应用成为5G成功商用的关键,实现矿业安全化、自动化、智慧化、无人化成为必然趋势。

参考文献:

- [1] 彭景乐. 5G移动通信发展趋势与相关关键技术的探讨[J]. 中国新通信, 2015(20): 52-52.
- [2] 李章明. 5G移动通信技术及发展趋势的分析与探讨[J]. 广东通信技术, 2015, 35(4): 44-46.
- [3] 曾剑秋. 5G移动通信技术发展与应用趋势[J]. 电信工程技术与标准化, 2017, 30(2): 1-4.
- [4] 唐忠杰. 关于5G移动通信发展趋势分析及若干关键技术探讨[J]. 中国新通信, 2016, 18(20): 6-7.
- [5] 刘平. 5G移动通信关键技术及发展趋势分析[J]. 中国新技术新产品, 2016(18): 27-28.
- [6] 康建中. 5G移动通信的应用现状及发展趋势探析[J]. 通信技术与应用, 2016(08).
- [7] 房涛. 煤矿井下有限空间无线电波传播特性研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2010.
- [8] 杨锴. 矿井通信中巷道电波传播特性研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.
- [9] 陈姗姗, 刘广亚, 姚善化. MIMO-OFDM技术在矿井无线通信中的应用[J]. 煤矿机械, 2013, 34(3): 223-224.
- [10] 杨锴. 矿井通信中巷道电波传播特性研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.
- [11] 王国法, 杜毅博. 智慧煤矿与智能化开采技术的发展方向[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(1): 1-7.
- [12] 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.
- [13] 霍中刚, 武先利. 互联网+智慧矿山发展方向[J]. 煤炭科学技术, 2016, 44(7): 28-33, 63.
- [14] 张辉. 煤矿虚拟现实技术应用与发展[J]. 煤矿安全, 2016, 47(10): 118-121.
- [15] 代婧. 智慧矿山中LTE无线局域网专网建设方案研究[J]. 数字技术与应用, 2017(1): 20-20.
- [16] 李梅, 杨帅伟, 孙振明, 等. 智慧矿山框架与发展前景研究[J]. 煤炭科学技术, 2017(1).

作者简介:

郭利雅, 工程师, 学士, 主要从事移动无线网维护优化工作; 王晓刚, 高级工程师, 硕士, 主要从事移动无线网维护优化工作; 李婵婵, 工程师, 硕士, 主要从事移动无线网维护优化工作; 杨晓虹, 工程师, 主要从事移动无线网维护优化工作。