

露天煤矿“5G+无人驾驶矿卡”网络应用研究

陈智华

国家能源准能集团黑岱沟露天煤矿，内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要：“5G+无人驾驶矿卡”网络应用，阐述其依托5G网络高带宽、低时延、大连接及网络切片等特性，解决露天矿5G网络部署与应用难题的过程。介绍项目核心做法，包括实施背景与意义、关键问题解决、总体方案设计、建设情况及创新点，分析应用带来的社会效益，探讨推广条件、价值及面临的难点与应对措施，为同类场景的5G网络建设与智能化应用提供参考。

关键词：5G；无人驾驶矿卡；露天煤矿；网络应用；智能化

背景及意义

无人驾驶矿卡的远程控制等应用上线，要求网络具备较大的上行带宽、极低的时延，传统网络已无法满足要求。5G网络基于其高带宽、低时延、海量联接的能力，完美契合了智能矿山建设的要求，能够实现露天矿各生产环节的智能感知、泛在联接与精准控制等。

1 解决的关键问题和难点痛点

“4G 改变生活，5G 改变社会”。业界普遍认为，5G 高速率、大带宽、低时延的特点，将为传统行业的数字化转型强势赋能。然而对于很多矿山企业而言，如何建设真正面向需要的5G网络？如何充分发挥5G的技术特性？如何将5G真正融入生产、管理是巨大挑战。

露天煤矿地形条件复杂和矿场生产导致的场景周期性变化，使5G基站规划、选址、覆盖、载波配置、网络优化等都面临很大的困难，传统的5G网络规划和建设方式，无法达到网络部署的目标和需求。要完成矿区5G网络覆盖，满足后续无人驾驶、工业控制、人工智能等技术的引入和应用，需要研究露天煤矿特殊场景5G网络规划、站址迁移、供电技术、各类参数配置及优化、超级上行等，保证5G网络在露天矿的覆盖和带宽、时延等重要指标满足需求，为后续的无人驾驶、工业控制等奠定网络基础。

2 主要建设内容

1. 总体方案设计露天煤矿整个组网涉及端侧（无人矿卡AR和CPE）、基站、承载网、MEC等，具体如下：

（1）无线组网方案

无线设备选型：针对露天矿室外作业环境，无线站点设备主要选择宏站站型，主要采用BBU+AAU分布式基站结构，满足快速安装、易于搬迁、大容量、抗干扰等矿区业务相关需求；并考虑矿区自动驾驶类网络诉求的演进，站点将支持基带板等单板的扩容演进。

无线频谱组网：针对露天矿室外环境以及区域内当前频段的使用情况，本项目频谱规划使用3.5G 100MHz主流5G频段，并充分考虑部分高容量需求作业面诉求，叠加使用2.1GHz频谱资源组成超级上行，支撑大容量需求。所使用的5G网络频段不与项目指定网络覆盖区域内及周边现有通讯频段发生冲突、干扰。

（2）核心网组网方案

考虑到无人驾驶、远程操控等5G+无人驾驶矿卡应用对数据传输大带宽、低时延的需求，共部署两套5G UPF（User Plane Function，用户面功能）网元用来承载用户面的业务数据和实现用户面数据的数据分流，并保证端到端传输时延不超过20ms。UPF通过N3接口承接5G基站回传的业务数据流，并通过UPF的上行分流

器 (ULCL, Uplink Classifier) 匹配数据策略, 将符合策略的数据通过 N6 接口访问边缘数据平台。UPF 网元通过 N4 接口向上接入同机房部署的 5G SA 核心网控制面的各网元, 实现 5G 业务处理, 同时保证矿区核心网与大网版本同步升级。

5GC 核心网通过双数据中心部署实现全系统冗余架构, 保证数据中心内各个子系统间的业务连续性和公共平台的稳定性。主备部署模式对业务数据、管理数据进行多副本冗余保存, 保障在故障情况下的业务快速恢复和数据不丢失^[1]。

(3) 承载网组网方案

汇聚层: 本次传输设备汇聚层新增 STN-B 设备 2 台, 根据无线覆盖需求, 本次汇聚层设备采用口字型组网直连核心 5GC CE 设备, 接入层采用环形组网方式通过双路由汇聚到 STN-B 设备。本次汇聚层采用 100G 带宽, 接入层采用 50G 带宽。因汇聚层口字型直连保证设备主备互为备份, 可增加设备安全可靠, 且汇聚层设备与核心 5GC CE 同机房部署, 避免设备因光缆等外界因素导致的断站。

接入层: 接入层采用环形组网, 且 1+1 光传输通道 (微波+光缆) 构成的环网具有光保护倒换功能, 可以有效保证各种业务传输的稳定性、可靠性, 避免设备因光缆等外界因素导致的断站^[2]。

2. 具体建设内容及创新点

(1) 首次使用 5G 网络精准规划四步法实现精准规划

黑岱沟露天煤矿存在地理环境复杂、地形变化迅速、面积大、勘测困难、引电及光缆铺设难等特点, 准确规划无线基站数量及位置存在较大困难, 在行业内大规模的实施存在较大的挑战。本项目针对以上难点, 创新性的提出 5G 网络精准规划四步法, 实现了对基站的精确规划, 使基站扇区布置数量减少 27%、覆盖率提升 19%^[3]。

①无人机采集矿区影像: 项目采用专业 M300 无人机对黑岱沟露天煤矿地形进行飞行采集, 获取海量照片数据 (大于 600G);

②构建 3D 高精度地图 (厘米级): 利用专业工具平台处理照片数据, 进行 3D 实景建模、点云生成。利用 LOD 重构技术, 生成仿真需要的 LOD2 地图;

③行业应用容量精算: 明确各功能区生产设备的种类、数量、分布及业务特征, 进行用户和网络画像。利用蒙特卡洛仿真算法, 精准评估应用的网络要求;

④精准规划: 基于上行速率要求和现场电磁环境, 在电子地图上精准预测射线径的轨迹和强度, 实现 5G 小区的精准规划。网络规划如图 1 所示。



图 1 网络精准规划

(2) 首次使用超级上行方案解决无人驾驶、远程控制等大上行带宽需求

针对矿山场景特殊性,为满足 toB 场景下业务应用对大上行的需求,推出超级上行技术,该技术将 3.5G TDD 上行与 2.1G FDD 上行结合,实现上行全时隙调度,基站近点速率提升 20%-60%,远点速率提升 2-4 倍,空口时延降低 30%,更加满足业务应用对网络指标的要求。同时,该技术还可搭配使用 A+P 极简站点,在不额外增加抱杆的基础上提升天线挂高,进而能够提升覆盖 20%^[4]。



(3) 首次使用新型便携式应急仓+拖曳式智能液压升降塔解决基站频繁搬迁问题

随着矿区生产作业计划地推进,无线站点需要频繁进行迁移,为了保证站点搬迁不对现场作业造成影响,并在搬迁的同时配合网规网优,站点迁移的时效性和准确性显得尤为重要。本项目创新性采用新型便携式应急仓+拖曳式智能液压升降塔,不仅站点面积小,而且升降、拖曳方便,满足矿山作业场景下站点快速迁移的需求。拖曳式智能液压升降塔、新型便携式应急仓示意如图 2 所示^[5]。



图 2 拖曳式智能液压升降塔、新型便携式应急仓

(4) 首次形成露天矿行业 5G“规建维优”一整套方法论

本项目中,通过采用园区网络全生命周期服务模式,从企业园区内业务调研开始,对园区业务进行分析,给出 5G 网络承载矿山业务能力和业务选择的建议:

①针对矿山业务进行行业画像和网络建

模,输出网络需求模型,无线网、承载网、核心网三域网络基于网络需求模型输出园区网络规划和高可靠性组网规划;

②针对矿山业务需求进行切片规划和业务保障及隔离设计,利用 5G 专网管理平台实现切片划分和业务开通,示意如图 3 所示;

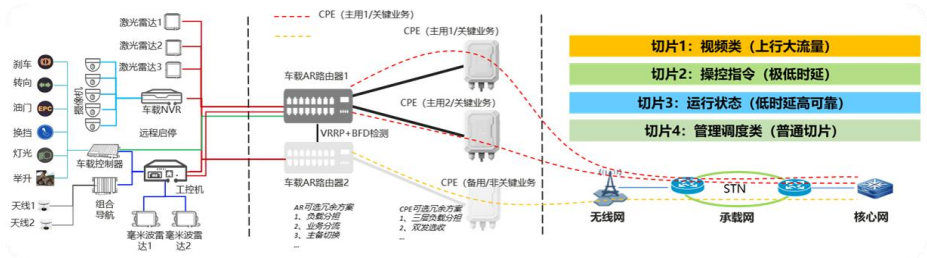


图 3 5G 专网管理平台实现切片划分和业务开通

③针对业务进行业务 SLA 建模,利用 5G 专网管理实现业务 SLA 的监控和管理方案设

计,在业务或网络出现问题时,5G 专网业务连接级 SLA 管理、业务 TOPO 准实时还原、业

务故障监控及 AI 辅助定界,极大简化 5G 专网运维复杂度、提升 5G 专网的运维运营效率,降低人员技能要求及工作量。

(5) 首次使用微波回传与油电混合方案

对于矿山无法引电和部署光缆的场景,本项目创新性引入了微波回传方案和油电混合方案。通过微波代替原有的光缆将 BBU 处理后的信息回传至承载网络。并且微波和光缆能够环路组网,任意一条路由网络故障后,业务均能从另外一条路由进行传输,保证传输的可靠性。针对部分区域无法引电的问题,采用油电混合方案,油机和蓄电池交替供电,既解决无市电问题,又比传统油机更省电、设备使用寿命更长^[6]。

3. 应用情况

应用侧针对鄂尔多斯某露天煤矿共 66 台矿卡、22 台电铲、62 台工程设备、518 台辅助车辆进行无人驾驶和远程控制改造,通过将 5G、AI、高清视频、大数据、云计算等新兴通信与计算技术应用于智能矿山建设,实现生产环节的智能感知、泛在联接和精准控制。此露天煤矿已开通 48 座 5G 无线基站,坑下智能采剥工作面、无人驾驶运行线路现全部实现 5G 信号全覆盖。99%以上线路上传速率 $\geq 30\text{mbps}$,信号强度 $\geq -100\text{dbm}$,平均时延小于 30ms,基站小区能力满足上行峰值速率 $\geq 500\text{mbps}$,平均时延小于 20ms,下行峰值速率 $\geq 110\text{mbps}$ 。

应用后的社会效益:我国矿用卡车无人驾驶的研究虽然起步晚,但通过国内互联网、人工智能、5G 通讯等技术的加持,为矿山无人驾驶技术的发展提供了良好的机遇。在国家 5G 新基建和智慧矿山政策导向,矿山行业转型升级和国有大型矿山需求推动之下,我国矿山企业、矿用车生产企业、无人驾驶系统公司、通讯公司等一起进行深度合作,共同开发矿山智能化系统,走出了一条具有中国特色的技术发展道路,将大大加速我国矿区无人运输作业技术的发展,实现对国外同类产品的弯道超

车。

5G+无人驾驶矿卡网络应用研究针对恶劣自然条件和复杂露天矿场景下的 5G 网络部署、优化及相关的智能化应用进行研究,使 5G 网络满足后续无人驾驶、远程控制等的带宽和时延要求,并为后续人工智能、大数据、物联网、工业互联网等引入和应用奠定基础。该项目是国内 5GtoB 场景应用的典范,为后续国内其他矿山 5G 网络覆盖和智能应用的开发提供参考价值。

4. 推广条件

(一) 适用条件

1. 露天矿山规模较大,需要大量的矿卡进行运输作业;

2. 矿山作业需要安全、高效、准确的物流运输,需要提高运输效率和降低运输成本;

3. 矿山作业需要减少人员的劳动强度和安全风险,提高作业的安全性和稳定性;

4. 矿山作业需要实现智能化管理和监控,提高作业的可视化和可控性。

(二) 推广价值

此方法获得成果多方认可,逐步推动,助力行业数字化转型,聚集无人驾驶产业资源,突破无人驾驶改造核心技术难题,深度适配 5G+技术在露天矿山场景下的应用,树立行业标杆,为行业数字化转型提供最佳参考。也正是基于在 5G 创新应用上的突出实践,本项目曾先后获得“第四届绽放杯 5G 应用征集大赛工业互联网专题赛一等奖”、“第四届绽放杯 5G 应用征集大赛总决赛二等奖”,并作“5G+智能矿山应用实践”的优秀典型入选 GSMA《中国 5G 垂直行业应用案例》。

在项目的实施过程中,基于项目实践总结提出了基于矿山场景的规建维优方法论,并为后续 5GtoB 定制网项目规划提供标准和方法,为全行业 5G 应用提供标准和参照。项目后续可逐步向行业、煤炭协会进行推广(当前已在内蒙白音华煤矿等项目进行推广复制)。

未来 5G+工业互联网、物联网、大数据、人工智能等技术的发展和应用,将逐步实现矿山的信息化、数字化和智慧化,实现少人化和无人化生产,通过推广此项目,可进一步提升企业的安全生产水平、降低生产成本、提高经济效益,为未来矿山向智能化发展奠定基础。

5. 难点及措施

基于露天煤矿 5G+无人驾驶矿卡网络应用相关研究,在 5G 网络建设过程中有如下难点:

(1) 业务需求转换为网络需求:无人矿卡业务最终需要网络承载,如何更科学,更准确的实现需求分析,需求验证,给出最终网络需求。

(2) 5G 网络规划建设:基于矿区复杂的环境,网络信号可能会受到干扰或遮挡,导致通信中断或延迟,影响矿卡运行;同时采掘区和各作业平盘作业内容差异性等特点,如何更科学合理进行站点规划确保对应区域的覆盖和容量。

(3) 5G 网络运维:对于矿区 5G 网络运维,需要实时监控 5G 网络状态和故障定位,进行 5G 专网业务连接级 SLA 管理,切片管理

和开通等,同时保障数据不出园区,确保运维安全。

以上难点解决措施如下:

(1) 业务需求转换,在进行 5G 网络建设前,需要对智慧化煤矿建设未来发展及业务规划做好分析,通过数字孪生工具模拟矿卡业务流,精确量化业务对网络需求;

(2) 5G 网络建设,通过无人机进行高精度 3D 地图构建,通过无人机航拍采集、高精度 3D 地图构建,NetlivetoB 精准估算网络资源,SLA Planner 射线级仿真规划,打造矿区 5G 精准网络。

需要在园区建设 5G 自管理平台,可以实现对 5G 网络的监控、管理和优化。实时监控 5G 网络的性能指标,如带宽利用率、延迟、丢包率等,帮助企业及时发现和解决网络问题;对 5G 网络进行安全管理,包括网络访问控制、数据加密、漏洞扫描等,保障网络安全;通过自动化运维技术,实现网络设备的自动化配置、故障自愈、性能优化等,提高网络运维效率;对 5G 网络的数据进行分析,提取有价值的信息,帮助运营商和企业做出更好的决策。

参考文献

- [1] 王旭. 浅谈“5G+MEC 无人驾驶矿车”工业互联网应用案例[J]. 长江信息通信, 2024, 37(5): 22-24.
- [2] 毕善春. 宝武马钢南山矿和尚桥露天采场 5G+MEC 无人驾驶矿车项目[J]. 自动化博览, 2021, 38(2): 80-82.
- [3] 张文渊. 无人驾驶防爆车辆在煤矿的应用前景分析[J]. 煤矿机械, 2025, 46(3): 171-173.
- [4] 林巧, 张磊, 何玉东. 露天矿山无人驾驶常态化应用面临的挑战及对策分析[J]. 智能矿山, 2025, 6(1): 36-42.
- [5] 杨沐岩. 无人驾驶矿卡加速露天煤矿绿色进程[N]. 中国能源报, 2024-05-27 (008).
- [6] 刘伟, 黄树巍, 魏琪嘉. 无人驾驶在露天煤矿的应用研究[J]. 信息通信技术与政策, 2024, 50(10): 21-27.