

井工煤矿5G网络部署优化

高雪峰

井工煤矿 5G 网络需求分析

矿山行业存在环境恶劣、移动作业、战线长的客观问题，传统的有线网络不能完全适应煤矿井下的实际通信需求，在综采工作面、掘进工作面等移动环境下，经常出现网络维护不及时，影响生产的情况。4G、WiFi等无线网络带宽、稳定性、时延等方面都不能满足工业控制的要求，所以5G网络成为了综采工作面、掘进工作面等移动环境下控制的佳网络选择。

大带宽需求

综采工作面的视频回传是对5G网络带宽需求最大的场景，传统的有线线缆在移动生产环境中，很大程度上容易被损坏，更换可靠的无线网络非常必要。综采工作面视频监控的摄像头安装在液压支架上（图1），每3个相邻的液压支架安装1个，一般1个综采工作面部署有50~80路摄像头，摄像



图1 综采工作面视频监控摄像头安装展示

头清晰度要求4K以上，单路4K摄像头的带宽约为 4~8 Mbit/s，一般1个综采工作面的带宽需求为 200~640 Mbit/s。机头与机尾2个5G基站的带宽可以达到240 Mbit/s，基本满足视频传输需求，采用“超级上行”技术后，带宽可以达到1 000 Mbit/s以上，有近50%的带宽冗余，完全满足特殊场景下对5G网络上行带宽的要求。综采工作面视频监控摄像头安装展示如图1所示。

时延需求

为满足矿山设备远程控制的要求，井下网络时延最大不允许超过50 ms，如果要满足协同控制、时序控制的要求，则时延应当小于10 ms，4G及其他无线网络无法满足该需求，不能用于工业控制。基于5G低时延、高可靠性的特点，可以较好地解决上述问题，其在智能矿山的典型应用场景包括：

（1）智能采掘及生产控制

基于5G网络高速率、低时延、高可靠等特性和网络切片技术，实现关键大型煤机装备对5G通信的支持，实现煤矿采掘和生产中各类信息的实时交互、远程控制。

（2）环境监测与安全防护

基于5G网络高速率、高可靠特性，实现井下可视化通信、实时高清视频传输、环境监测数据采集，满足环境监测与安全防护的海量高清视频数据承载需求，提供全矿井、全流程智能安全预警。

（3）地下矿山无人驾驶

基于5G网络高速率、低时延、高可靠特性和5G高精度定位技术，利用高级驾驶辅助系统，开

展矿山无人驾驶系统建设与应用，实现安全生产、减少现场作业人员和支撑企业降本增效。

(4) 虚拟交互

基于5G网络高速率、低时延特性，探索虚拟现实（VR）与增强现实（AR）在煤矿井下的应用，实现现场实时巡检、专家远程辅助、生产培训等功能。

井工煤矿 5G 网络部署方式

5G 网络在矿山“一张网”中的定位

井工煤矿“一张网”一般包括4个部分（图2）：①福利网，职工在宿舍和食堂上网用；②专线，矿方给集团、选煤厂、政府机构等单位传送数据用；③办公网，矿方财务、采购、仓储等办公人员用；④控制网，这部分网络对安全要求最高，用于对设备进行控制。

5G网络的关键作用在控制网内部，用于对采煤机、掘进机、卡轨车等移动设备的控制，这是对传统矿山“一张网”的有效补充。既解决了传统有

线网络在移动环境下线缆部署复杂、断线等问题，也解决了其他无线网络带宽和时延达不到控制要求的问题。

井工煤矿 5G 网络的构成

井工煤矿5G网络的部署结构和地面上的5G网络一样，包括核心网、承载网和接入网3个部分，如图3所示。

虽然，煤矿5G网络和地面的5G网络结构相同，但在井下部署的时候要考虑到煤矿5G网络的特性。

(1) 核心网是5G网络的“头部”，没有核心网的支撑，5G网络是不能工作的。有时候用运营商的5G核心网来替代矿方的5G核心网，但是又担心矿方的数据传输到运营商那里，所以在矿上部署了MEC，通过MEC，实现数据不出园区，如果MEC到运营商核心网之间的专线出现问题了，MEC是不能独立支撑矿方5G网络运行的。而且矿方属于专网，运营商部署的是公网，两者之间要部署防火墙，但是部署防火墙后，矿方到运营商5G核心网之间有些数据不能穿透防火墙，这显然是行

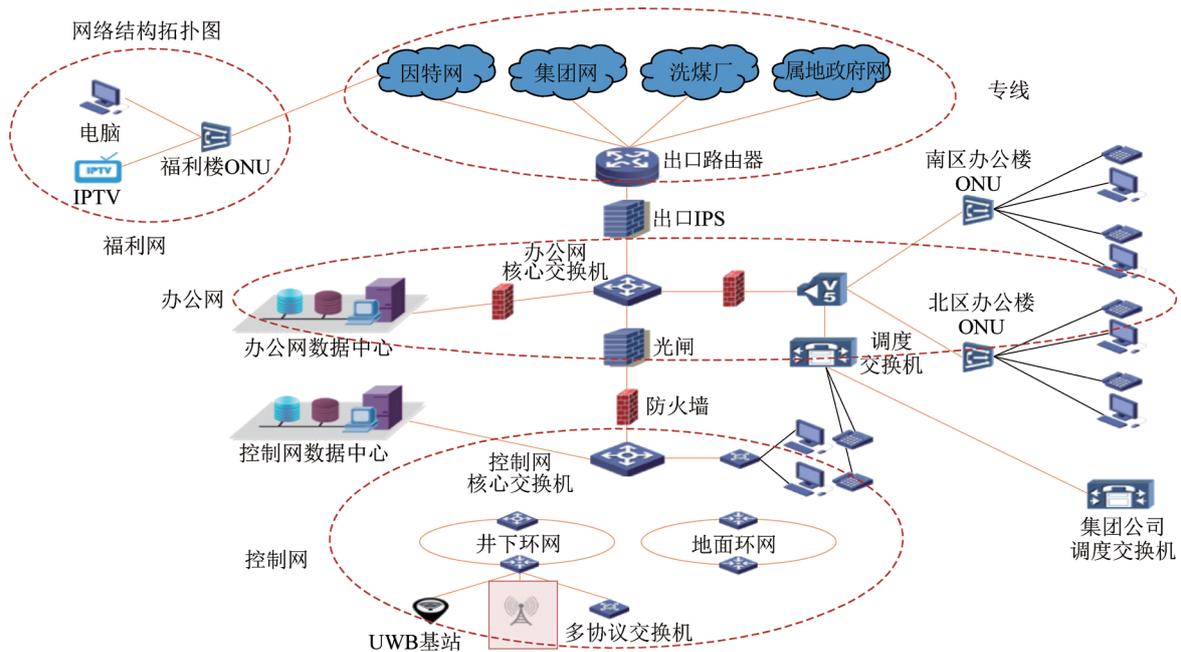


图2 矿区“一张网”网络结构

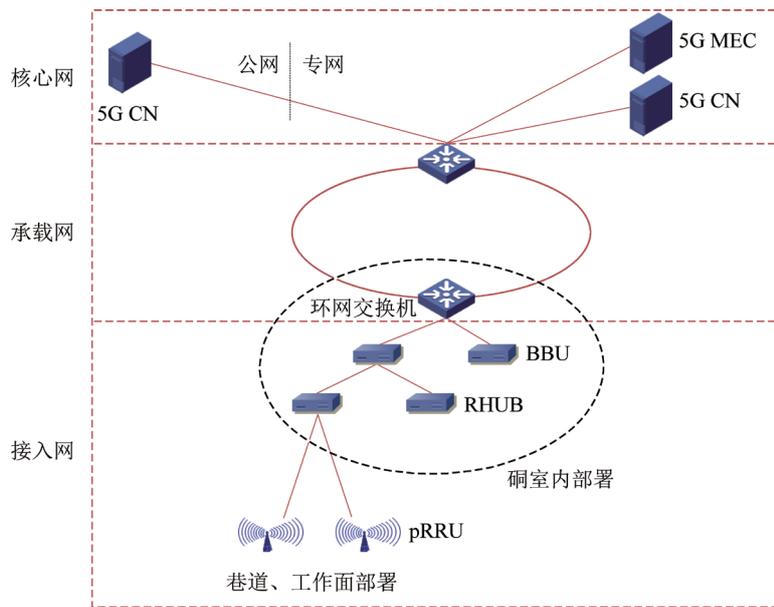


图3 井工煤矿5G网络的部署结构

不通的。所以鼓励在矿方部署5G核心网，用于保障矿方5G网络的独立性和可靠性。

(2) 承载网是指贯穿煤矿井上井下的环网，是5G网络的“躯干”。为满足矿山智能化发展的需求，以及相关政策要求，承载环网需建成万兆及以上。同时，承载网络要能够支持5G信令的传输，否则在井下部署的5G网络将无法传输数据。

(3) 接入网是5G网络的“四肢”，主要包括BBU（基带控制单元，完成信号的基带处理、提供传输管理及接口和管理无线资源）、HUB（远端数据汇聚单元）、pRRU（微型射频拉远单元，多模方式，达到1基站多用途的目的）。基带控制单元和远端数据汇聚单元如图4所示。微型射频拉远单元如图5所示。

井工煤矿 5G 网络优化

(1) 矿用5G核心网优化

矿用5G核心网分为中型、小型、微型3类，分别可支持5 000、2 000、1 000个用户，可以根据不同规模的煤矿和用户需求，组合不同的核心网，定制核心网部署方案，既避免网络资源浪费，又确保5G井网络下的可用性和经济性。核心网3种模式如

图6所示。

(2) 矿山上行数据优化

矿山企业应用中，多数应用涉及到高清视频数据的回传（综采工作面、掘进工作面远控、硐室监控、输送带监测等），这需要5G网络具备较强的上行数据传输能力。通过调整时隙配比来增加5G网络的上行带宽，井工煤矿的井下环境与公网的设备处于隔离状态，在该场景下可以采用3:1的时隙配比，调整后的上行带宽可以达到1G左右，完全满足矿方视频数据上传的需求。

(3) 5G站点时钟同步优化

当前，5G网络的主力频段采用TDD制式，原理上需要时间同步。只有保证基站间严格的时间同步，5G网络才能承载大量的行业应用。同时时钟同步也是5G站间协同特性的基础，5G站间协同可一定程度上降低多个站点间的干扰影响，提升站点交叠区域的网络能力。

地面上通过接收GPS信号完成时钟同步，而在井下巷道面临无法接收GPS信号的问题，因此需要通过本地部署1588v2时钟同步服务器实现时钟同步。

(4) 矿山网络平滑演进优化

矿山网络部署需要综合考虑未来的业务诉求，因此相关网络设备需要同时具备面向未来的网络演



图4 基带控制单元和远端数据汇聚单元

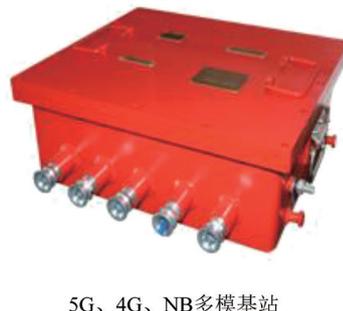


图5 微型射频拉远单元

进能力。根据平滑演进的方案，推进矿山4G向5G网络的合理过渡，硬件产品不用重新更换，对软件进行升级，且升级过程快速、高效。采用同时支持4G和5G的多模基站，当矿方需要4G的时候，可以先开通4G；当矿方需要5G的时候，硬件设备全都不用更换，只需要软件授权就可以开通5G，可大幅节约成本。

(5) 5G定向天线优化

针对煤矿井下巷道狭长的特点，研发出适用于矿山巷道的定向天线。由于矿山巷道内有严格的防爆要求，总发射功率不能超过6 W，防爆要求限制了站点的发射功率，因此整体覆盖距离受到一定限制，需要高增益的定向天线来弥补发射功率不足带来的覆盖问题。

未采用定向天线时，天线的覆盖范围为50~75 m，采用定向天线优化方案后可达到300~400 m的覆盖范围，使用定向天线大幅扩大了辐射距离，弥补了发射功率不足带来的覆盖问题。

(6) 矿山网络抗灾优化

煤矿井下的爆炸、冲击波、高温、巷道垮塌、淹井等破坏性灾害事故，会导致通信光缆中断、通信设备故障。为满足灾害救援的需要，防止灾害事故造成井下通信中断、人员失联等现象发生，需要通信系统具有很高的抗灾能力，保证灾害事故发生后，非灾害区域的通信不会中断。

井下环网光缆应当采用地理的方式敷设，禁止采用直埋的方式敷设光缆，需要先敷设镀锌钢管，

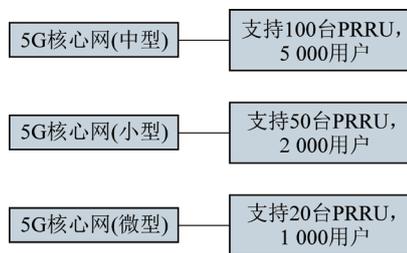


图6 核心网3种模式

每隔100 m预留检修孔，方便光缆敷施工及日后检修。地理敷设光缆时不必选择铠装光缆，只需选择阻燃光缆即可。

结 语

通过5G网络的六大优化，实现了5G在井下正常开通、覆盖半径达到300 m等，既满足5G网络覆盖的经济性要求，也满足井下对5G网络的适用性要求。5G网络在井下的覆盖，为实现矿山全面感知和协同控制打好了坚实基础，也为智能矿山的建设打好了坚实基础。

■ 责任编辑：李艾酥

作者简介：

高雪峰，高级工程师，现任中国联通智慧矿山军团副军团长，主要从事信息化研发和管理工作。

E-mail: 36700871@qq.com

作者单位：联通（山西）产业互联网有限公司