

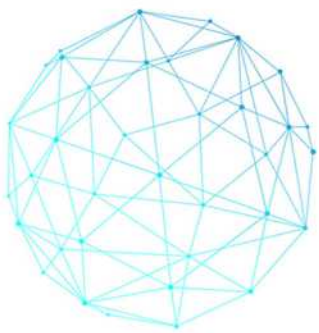


2021版

5G地下移动通信网络 (5G DMN)白皮书

构建地下智能化综合性通信网络

2021.11



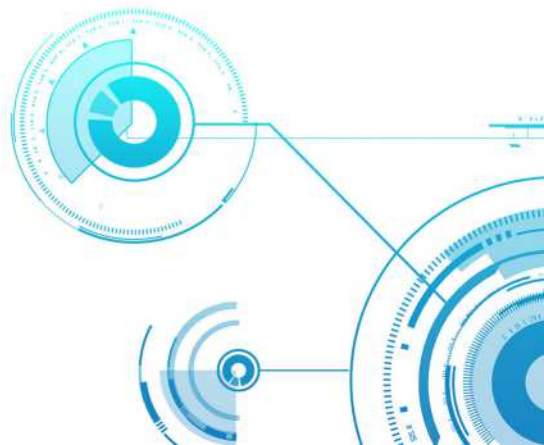
前言

以煤矿为代表的矿山行业一直以来在我国国民经济发展中起着举足轻重的作用，我国高度重视煤炭产业高质量发展，致力于构建智慧矿山和打造智能感知、智能决策、自动执行的矿山智能化体系。

矿山行业环境制约趋紧、要素成本上升，亟待利用 5G 等新一代信息通信技术加快数智化转型进程实现少人、无人生产，在保障人民群众生命健康安全的同时，为矿山行业带来提质、降本、减碳和增效等巨大商业价值。

本白皮书针对地下矿山智能化演进过程中面临的 4 大类网络挑战，提出全新的 5G 地下移动通信网络（5G DMN）愿景和连接泛在、性能极致、一网多能、运维极简的技术体系。并对 5G DMN 的技术路径、应用场景和系列创新技术进行了阐释。本白皮书希望联合广大产业合作伙伴，从技术攻关、标准制定、产业推进和生态构建四方面共同推进 5G DMN 的发展和成熟，共创以矿山为代表的广阔的井下数智经济发展新空间，促进井下通信产业的范式变革。

本白皮书由中国移动、华为、中国煤炭协会、中国矿业大学(北京)共同编制。未经授权，任何单位或个人不得复制或拷贝本白皮书之部分或全部内容。



目 录 Contents

一、	矿山的智能化发展需求和网络挑战	1
1.1	智能发展需求	1
1.2	网络挑战严峻	1
1.2.1	环境特殊	3
1.2.2	多网并存	3
1.2.3	性能挑战	3
1.2.4	运维困难	4
二、	5G DMN愿景及应用场景	5
2.1	5G DMN愿景	5
2.2	5G DMN技术路径	6
2.3	5G DMN应用场景	8
2.3.1	看：视频传输	8
2.3.2	感：物联定位	8
2.3.3	控：远程控制	9
2.3.4	连：实时通信	10
2.3.5	算：现场算力	10
三、	5G DMN创新技术	11
3.1	连接泛在	11
3.1.1	弹性组网技术	12
3.1.2	高可用组网技术	13
3.2	性能极致	14
3.2.1	超级上行技术	14
3.2.2	高精定位技术	15
3.3	一网多能	16
3.3.1	云网业融合技术	16
3.4	运维极简	17
3.4.1	自主化技术	17
四、	5G DMN发展倡议	19
五、	缩略语	20
六、	编制单位及人员	22

一、矿山的智能化发展需求和网络挑战

1.1 智能发展需求

矿业在我国国民经济中占有重要地位，年产值超 6 万亿，全国 GDP 占比超过 7%。煤矿是其中最重要的细分行业，煤炭能源生产占比超过 70%，其中 85% 来自地下开采。为促进中国煤炭产业高质量发展，加速智慧煤炭矿山的建设，2020 年 3 月，由国家发展改革委等 8 部门联合印发《关于加快煤矿智能化发展的指导意见》，明确到 2035 年，各类煤矿基本实现智能化，构建多产业链、多系统集成的煤矿智能化系统，建成智能感知、智能决策、自动执行的煤矿智能化体系。

同时，地方积极落实国家政策要求，山西、内蒙古、陕西、河南、新疆等多省出台政策，要求加快推进矿山行业供给侧结构性改革，全面加速矿山智能化发展。中国煤炭协会预测，随着煤炭企业数字化转型和智能化建设深入，“十四五”末期煤炭行业数字经济产业可望达到千亿元/年的市场规模。

以 5G 为代表的新型信息基础设施的泛在部署，促进矿山等各领域数智生产力的发展普及，实现从感知、传输、存储、决策和执行全环节，推动千行百业数智化的孕育发展。国家《十四五》规划提出强调加快建设新型基础设施，并对 5G 产业生态发展提出了明确要求。

为积极响应国家号召，2021 年工信部等 10 部门印发《5G 应用“扬帆”行动计划（2021-2023 年）》，强调深入推进 5G 赋能千行百业，并着重强调加快煤矿 5G 通信设备、5G 融合基础设施和 5G 各类应用的研发建设推广工作。具体包括：一是加快可适应采矿环境具有防爆等要求的 5G 通信设备研制和认证；二是推进露天矿山和地下矿区 5G 网络系统、智能化矿区管控平台、企业云平台等融合基础设施建设；三是推广 5G 在各类矿区的应用，拓展采矿业远程控制、无人驾驶等 5G 应用场景，推进地下核心采矿装备的远程操控和集群化作业、深部高危区域采矿装备的无人化作业、露天矿区的智能连续作业和无人化运输。

1.2 网络挑战严峻

矿山行业环境制约趋紧、要素成本上升，亟待利用 5G 等新一代信息通信技术加快数智化转型进程，实现少人、无人生产，在保障人民群众生命健康安全和破解招工难用工荒的同时，为矿山行业带来提质、降本和增效等巨大商业价值。

01 矿山的智能化发展需求和网络挑战

加快建设以 5G 为代表的信息基础设施和部署 5G 基础矿山网络，促进矿山智能化快速发展。目前，全国已建成新元矿、麻地梁、乌海老石旦、三山岛金矿、察哈素等多个 5G 基础矿山网络。初步实现掘进工作面、综采工作面内的少人操作和固定岗位的远程监控。

但是，地下复杂的作业环境带来的安全隐患、人力成本、监管手段和业务孤岛等种种问题在不同程度上制约着矿山全面智能化升级的步伐。地下矿山生产区域完全封闭且作业环境非常复杂，主要包括 8 大工作场景：



图 1-1 地下煤矿 8 大工作场景

1. 主巷道：是矿井的主要运输巷道。主巷道长度十至上百公里，大部分可以通行两辆车。
2. 管线：包括电缆电线、光纤、瓦斯抽采管道。管线沿主巷道布置。
3. 综采面：是矿井的采煤工作面现场。一般 2-4 米高（取决于煤层的厚度），宽约 100~300 米，长度 2 公里左右。
4. 主工作巷道：地下生产系统监控中心和检修巷道。
5. 输煤皮带：矿井主要的煤矿输送装置，即时输送煤炭至井上洗煤中心。
6. 机电硐室：用于存放煤矿关键的电气设备。
7. 掘进面：是巷道等空间的掘进工作面现场，通过掘进机对岩壁掘进形成多个井下巷道，同时将井下煤层切割为多个煤块，可提供多个综采作业面。
8. 地面监控指挥中心：用于煤炭地下作业的远程监控与控制。

针对上述 8 大地下核心工作场景，矿山行业在进行智能化改造时，目前面临 4 大关键网络挑战：

1.2.1 环境特殊

◆ 特殊环境导致网络建设困难：

一是对网络设备功能形成挑战。地下环境复杂，存在粉尘、瓦斯等多种杂质，对设备的防爆功能和发射功率提出要求（无线设备射频功率不超过 6W）；地下线缆部署困难，空间狭窄且作业面移动，对基站设备集成度和可移动性提出更高要求。

二是对网络覆盖能力形成挑战。地下工作环境多为狭长线状分布，无线传播环境与地面差异大，地下低发射功率和特殊传播环境容易造成覆盖受限；地下构造特殊，随意部署站点容易造成线缆拉扯，因此存在选址难问题，导致覆盖进一步受限。

三是网络可用性挑战。地下安全生产管理和少人无人作业对网络的容灾能力提出高要求。一是需要把断网的时长降至最低可能，二是在网络设备出现故障时保证网断业不断，实现连续作业和避免重大安全风险。

1.2.2 多网并存

◆ 地下多网并存不利于智能化发展：

一是网络数据采集和控制执行能力过于分散。目前多张 NB-IoT、UWB、2/3/4G 语音通信网络、工业生产控制现场总线网络并存，实现环境、视频、定位、设备运营等多维数据的采集和对设备的控制执行和指令下发。多网并存带来部署难题，持续增加的采集感知设备和复杂的地下环境也对地下网络的大物联能力提出挑战。

二是网络数据处理和决策能力过于分散。多个数据处理和决策服务算力单元地上地下独立无序部署，使得生产和监控数据难以融会贯通，易形成数据孤岛和降低数据协同处理效率，从而加大信息、数据综合感知和智能化控制决策的难度，并影响决策敏捷度。如：通风、排水系统均独立部署。

1.2.3 性能挑战

◆ 地下少人无人作业驱使极致网络性能：

矿山在智能化转型过程中，一方面需要具备露天矿山相似的网络能力，如：低时延、高可靠、确定性、安全隔离、数据不出场。另外，地下特殊的作业环境对部分网络性能带来了更大的挑战。

一是上行速率和容量挑战。地下人员、环境、生产等全流程安全监控作业需求迫切。仅 2

公里采煤巷道需部署 40~60 个摄像头，20 公里输煤皮带部署 50~100 个摄像头，综采面远控需要部署 20~30 个摄像头。在地下设备功能受限和覆盖受限基础上实现稳定的大带宽视频传输是一大挑战。

二是网络高精度定位挑战。地下高精定位是矿山监控管理、应急救援、事故处理、智能作业不可或缺的保障手段。无线定位精度与定位设备的部署位置和密度具有强相关性。地下空间线状分布且供电传输线缆有限，定位设备无法遵从密集自由部署的原则，对实现地下人员、车辆、设备的米级和厘米级定位精度提出巨大挑战。

1.2.4 运维困难

◆ 地下安全作业驱使网络运营维护升级：

一是统一运维挑战。目前矿山各张网络运营管理平台之间相互独立，运维效率低下且无法形成高效协同。随着矿山智能化水平的提升，需要更加高效实时的智能网络运营管理平台，对业务需求分解下发、网络资源配置管理和网络能力监控开放进行一站式统筹管理。

二是现场运维挑战。矿山设备类型多且系统相互独立，地下空间狭窄和线缆布放复杂，网络升级和维护成本高、难度大，需要提升远程自主化运维和智能自动化运维水平。

通过上述挑战可以看出，面对地下矿山复杂的作业环境条件和加速实现少人化、无人化的智能化矿山的明确目标，目前矿山行业迫切需要把先进的 5G 技术与地下矿山的实际场景紧密结合，基于地面 5G 通信网络并且持续增强 5G 的内生能力，尽快构建一张创新的地下 5G 通信网络，助力基于 5G 的矿山智能化进程，同时也将对未来衍生出来的城市管廊、地下管网等井下新产业带来范式变革。

二、5G DMN 愿景及应用场景

2.1 5G DMN 愿景

面向矿山地下网络的 4 大挑战，5G 网络的大带宽、低时延、广联接等特性给运营商及行业生态伙伴应对挑战提供了技术基础，同时基于中国移动与合作伙伴在矿山行业的 5G 专网部署经验，提出构建全新 5G 地下移动通信网络（5G DMN）及技术体系。

5G DMN 愿景是基于 5G 技术构建一张智能化综合性地下专用移动通信网络，移动通信运营商基于 5G DMN 在矿山等地下封闭环境可为公众和企业提供移动通信服务。针对地下业务在无线传播环境的差异性和安全、可靠性等网络性能方面的特殊要求，5G DMN 网络通过构建连接泛在、性能极致、一网多能、运维极简的技术体系，支撑矿山实现感知、决策、操控等全智能化。



图 2-1 5G 地下移动通信网络（5G DMN）愿景

◆ 连接泛在

建设一张连接随时随地无处不在、易于部署、易于获取、成本经济、高可用的地下网络，实现所有人和设备随时随地可用网络。一是煤矿地下空间环境特殊，需要结合其差无线传播的差异性构建连续深度覆盖的网络，同时矿山地下属于动态生产环境，网络要跟随生产进度动态变化，网络需具备灵活部署的能力；二是为保证网络的随时可用，达到 99.99~99.999%（年断网时间 5-50 分钟）的超高可用性；三是地下设备包含采煤机、运输车、摄像头、温湿度瓦斯传感器等开机后可快速接入。

◆ 性能极致

建设一张上行能力强、连接密度大、时延超低、定位精度高的地下网络。具备单基站支持 20~50 路 4K 高清视频采集能力；单基站支持上万的窄带物联连接能力；时延稳定至 20ms 以内 @99.99%；定位精度要达到米级以内。

◆ 一网多能

建设一张同时具备通信、定位、感知、算力、绿色等能力的网络，满足矿山所有数智化应用的需求。具备替代或融合 UWB 网络的能力，支撑地下人和物的高精定位；具备替代或融合物联采集网络的能力，收集现场信息和实现环境全感知；具备与 OT 现场控制设备融合的能力，实现作业全流程打通；通信设备可具备算力，支撑地下无人化作业系统现场决策。

◆ 运维极简

5G DMN 网络具备良好的兼容性和优异的性能，通过统一的入口和统一的平台，满足各种业务的差异化诉求，简化部署和运维，支撑地下无人化、少人化作业。传统的矿山地下具有多种通信系统，如 3G、4G、WIFI、LORA 等，定位有 UWB、蓝牙、超声波等，控制有局域网工业总线，一方面需要 5G DMN 网络与现有系统逐渐融合，最终实现统一运维和管控；另一方面需要引入自主化技术，提升运维的自动化、智能化水平，简化运维复杂度。

2.2 5G DMN 技术路径

5G DMN 网络技术发展分为三个阶段：基础型、增强型和全能型。通过分阶段技术攻关、标准制定和产业推进逐步实现连接泛在、性能极致、一网多能和运维极简的四大愿景目标。其中：

阶段一：基础型 5G DMN 网络。结合地下定制设备和移动弹性组网，初步实现环境监测、视频类多网融合，打造具有数百兆上行、确定性能、高可用的安全泛在网络。满足矿山主要环节自动化、智能化运行，基本满足掘进工作面 and 综采工作面内减人少人、降本增效的需求。

阶段二：增强型 5G DMN 网络。灵活调用地下频谱进行弹性组网，实现全量感知网络和网云一体融合网络，打造上行持续增强、米级高精定位、超级大物联、超高可用的性能极致网络。基本具备自主化服务、运维和开发的网络管理水平。满足重点矿山基本实现地下全面连接、系统融合感知和数据智能，基本满足地下所有固定和移动场景的无人化、少人化需求。

阶段三：全能型 5G DMN 网络。实现无线资源的灵活分配，构建包括设备现场层的全场景深度连接、超高确定性能、分米级高精定位的高品质地下网络。多网合一、网算合一全面实现多维感知、多维通信和网算资源的高度协同。全面具备智能化一站式运维的先进地下网络运营管理能力。满足各类矿山基本实现智能化和部署智能感知、智能决策、自动执行的矿山智能化体系的需求。

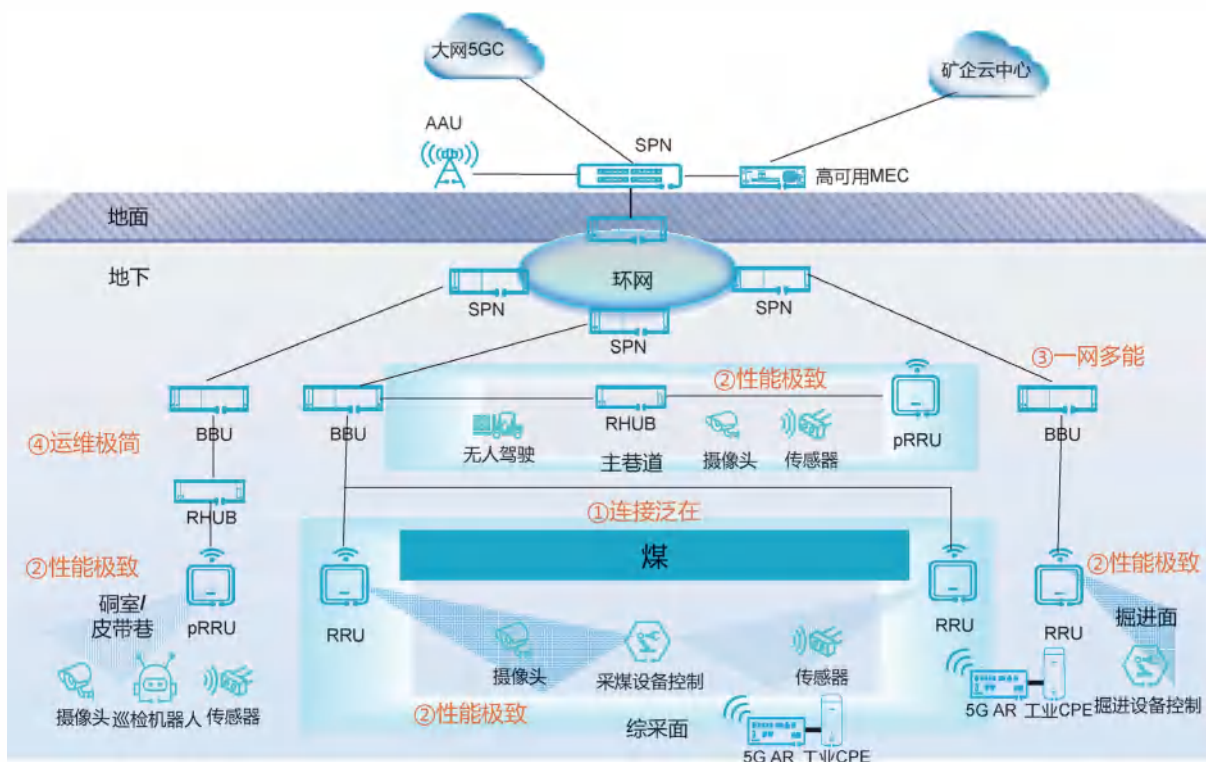


图 2-2 基于 5G DMN 的地下矿山网络解决方案

地下无线网：5G DMN 网络在井下巷道环境典型采用线性组网方式，针对井下特殊的高瓦斯高粉尘的易燃易爆环境，研发满足隔爆标准的矿用 5G 基站解决；针对井下 5G 覆盖性能受限，研发专用井下 5G 定向天线提升有效覆盖距离。射频模块根据实际需求灵活选择频谱组合，通过拉远或者级联的方式连接到井下 BBU；在综采面两端分别部署 RRU 朝向综采面中央覆盖；在掘进面洞口部署射频模块朝向洞内覆盖；部分环境采用可移动式基站增加灵活性；在硐室内可按需部署室分头端。

地上地下传输环网：基于 SPN 承载环网将井下 BBU 连接到地上 5G 核心网，实现井下和

井上一张网打通融合。井上SPN一方面与井下SPN形成环形组网，另一方面与运营商传输SPN网成环，确保煤矿至移动传输节点传输双路由保护。

地面核心网：采用SA独立组网方式建设，MEC与UPF网元共部署在地面机房，井下通过SPN传输连接到地面核心网网元。

2.3 5G DMN 应用场景

5G DMN结合云计算、大数据、工业互联网、人工智能、机器人等新一代信息技术，加速我国智能矿山具备资源与开采环境数字化、技术装备智能化、生产过程可视化、信息传输网络化、生产管理与决策自主化的能力。一是改变传统的生产组织与用工形式，二是打破安全、环境等对矿山开发利用的制约，满足矿山安全生产的刚性需求。5G DMN网络在矿山中应用广泛，归纳总结主要是5类应用：

2.3.1 看：视频传输

5G DMN助力井下看得“更清楚更全面”，满足井下海量人员、环境和生产安全监控的需求。随着煤矿智能化建设的不断深入，视频监视越来越广泛应用于煤矿井下工作场所。主要包括：皮带机的中部、机头尾、落煤点、受煤点、机电硐室的配电室、配电点、泵房、排水点，瓦斯抽采钻场，车场的前部、中部、后部，采掘工作面的架载视频、采煤机机载视频，机器人等巡检设备的机载视频，井下重要场所的场景智能识别，以及其它应用场位景。未来，随着4K、8K、3D等高清多视角应用逐步引入，5G DMN超大上行、大容量等优势将进一步发挥。

2.3.2 感：物联定位

5G DMN助力井下传得“更多维更迅速”，实现设备运行和环境状态实时监控和建立地下矿业万物互联智能世界。煤矿井下需要物联传输数据的场所主要包括：顶板离层监测、冲击地压、地应力，通风监测系统的最大开路电压、最大输出电流、功耗、状态数据信息，非“四遥”读表（管道风量、风压、水量、水压等），立井、斜井井筒安全监测：井壁和围岩应力、应变、温度、裂隙、渗流及其变化趋势，冲击地压监测，地应力检测，以及其它应用场景。

煤矿智能化改造的目标是少人甚至无人，这个目标的达成依赖于地面人员对地下环境的充分感知和深度理解。环境感知首先依赖于海量的传感器（温度、湿度、瓦斯、气压…）数据，5G DMN网络必须具备深度覆盖和泛在物联网技术将传感器信息及时准确的传递到地面。深度的环境理解依赖于高清的静态、动态图像回传，这些图像可广泛应用于煤层识别、3D地图绘制、无人驾驶、无人支护等各种场景，帮助地面操作人员搭建数字孪生环境。

5G DMN高精定位助力实现井下通信定位一张网，更好地服务于人员、车辆、设备管

理。为企业管理、安防监护、应急救援、行程监测等领域提供了重要保障。如：井下人员分布实时监测，动态显示井下人员、车辆和设备在航道上的行踪，人员考勤和GIS地图缩放功能等。

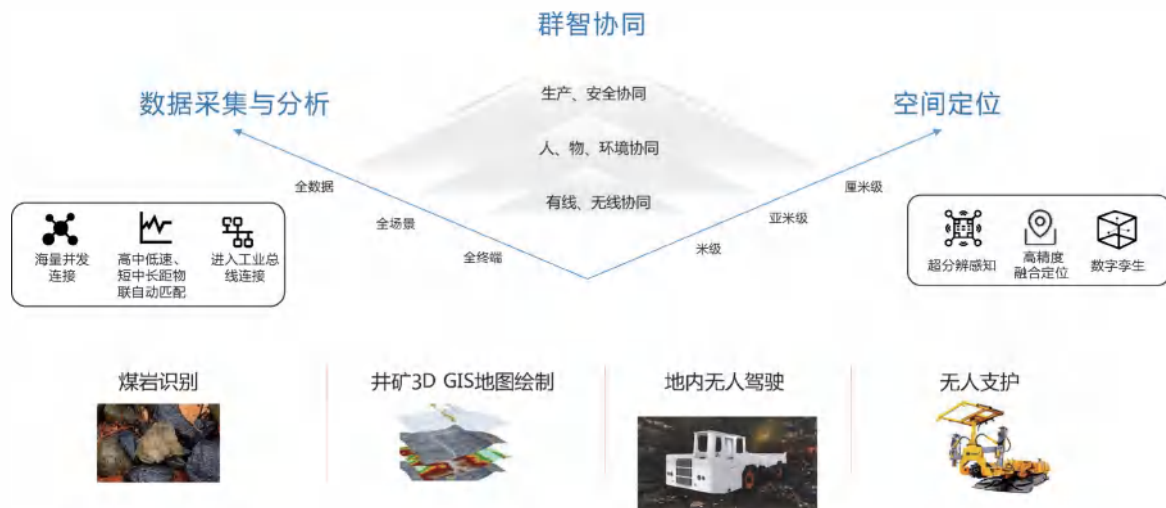


图 2-3 基于 5G DMN 的矿山感知系统

2.3.3 控：远程控制

5G DMN助力地下各类远程控制和无人驾驶业务“更精准更敏捷”，保障矿山核心生产业务的高效、安全。地下各种工业设备，如割煤机、液压支架、掘进机等当前采取有线控制的设备，通过远程人工控制或基于AI的智能控制实现减少现场作业人数的目的，实现现场少人化甚至无人化。震动、瓦斯、速度、位置、设备健康状态等海量传感数据上传并通过虚拟技术建模，对掘进机等现场采掘设备的工作状态进行数字孪生呈现，实现远控及自动高效安全作业。以无轨胶轮车、矿用电机车、单轨车，固定式液压破碎机等为主的应用场景，实现地下远程（无人）驾驶，并与巷道基础设施、路侧单元、作业人员、其他车辆之间实现相互通信和协同。远程控制，让作业人员远离矿下的较危险的环境，可以坐在舒适的控制室远程操控，既大大提升工作环境，又提升安全生产。

5G DMN网络要实现地下无人化作业，必须支持挖煤机和掘进机的远程控制，这涉及到工业控制系统和通信系统的融合。工业控制系统包括五层架构，从L4 矿山办公管理、L3 智能排班调度、L2 地下单系统集成控、L1 作业面操控到L0 现场总线控制。5G具备低时延高可靠的特性，首先可以在L1和L2层之间用5G承载，实现操作人员远离作业危险区域，然后逐步探索L0和L1之间5G承载，使5G DMN逐步深入到OT现场总线层面，结合IT智能化相关技术实现OICT融合重塑，逐步实现作业流全流程打通。

2.3.4 连：实时通信

5G DMN地下移动通信网络实现从定点通信到随时随地高质量实时通信。矿山地下通

信随时随地，包括：地下作业人员出现紧急事故、远程检修指导、地下车辆实时调度等。5G DMN使得本安手机、可穿戴设备随时接入网络与井上进行通信调度，大幅提升沟通、生产效率和保障生命财产安全。

2.3.5 算：现场算力

5G DMN网络不仅提供精品网络保障泛在连接和极致性能，同时通过地下集成部署的IT算力资源，提供更多现场级的特色能力和服务，使得传统相对独立的云计算资源和网络基础设施融合一体化供给，实现云网业务统一交付、深度融合、高效协同。

地下机器人支护、远程采掘等自动化控制应用，对本地数据处理和低时延提出了更高要求。数据的本地分流、及边缘计算下沉到作业面附近是实现数据安全、缩短交互时延的有效手段。因此5G DMN通过云网融合实现通信资源和算力资源的高效协同，满足矿山客户算网一体化交付和运营。

5G DMN结合智工AI、一体化算力可实现“更实时更高效”的自动巡检和无人值守，打造地下安全生产环境。矿山地下应用巡检装置的场所主要包括：变电所、水泵房、皮带机、大巷、井筒、管道、采煤工作面等，采集实时视频、热像图、环境气体参数、烟雾、设备运行工况等信息，数据分析处理后，实时控制开关柜、阀门、机泵及采掘设备等。

三、5G DMN 创新技术

5G DMN 是 5G 地面网络的重要延展，为了匹配地下特殊的覆盖条件，满足少人化、无人化、智能化的业务发展需求，需要全方位的技术创新，既包括现有技术的持续演进和应用场景创新，更包括跨领域技术的融合创新和原创技术的引领创新。

5G DMN 总体解决方案包括端侧的感知执行层、网侧的基础设施层和运维编排层（含部分边缘侧），以及云侧的平台能力层和业务运营层（含部分边缘侧）。为打造智能化综合性地下专用通信网络，我们构建了 5G DMN 技术图谱，聚焦基础设施和运维编排两层，包括连接泛在、性能极致、一网多能、运维极简四个技术簇。

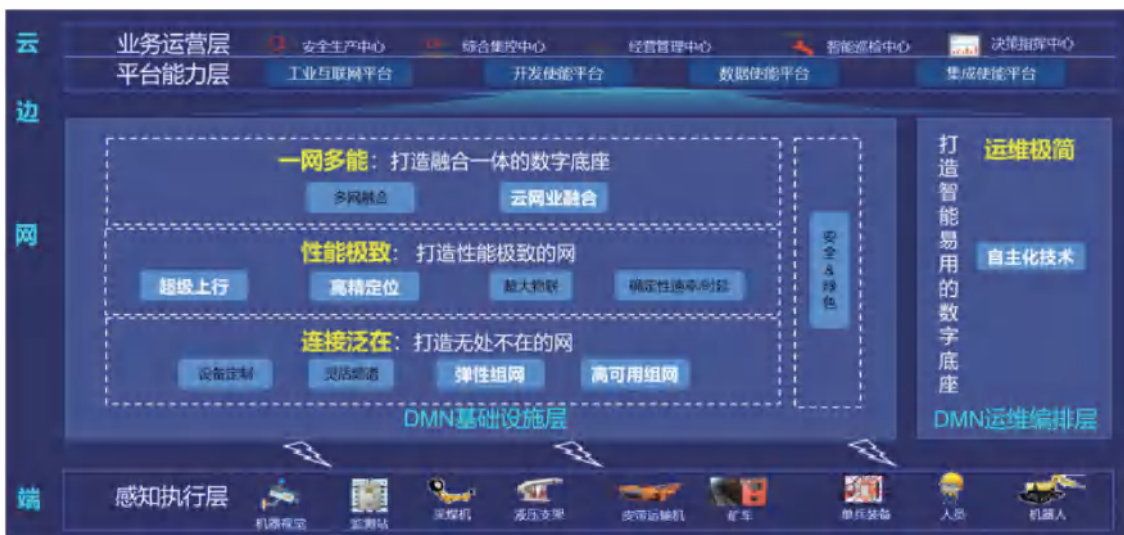


图 3-1 5G DMN 技术图谱

接下来将分别对四个技术簇展开介绍，结合地下网的需求概要介绍共性增强技术及演进，并重点介绍具有显著地下网特色的融合创新技术和引领创新技术。

3.1 连接泛在

5G DMN 将 5G 覆盖扩展到地下，环境特殊，为了实现连接随时随地、无处不在的愿景，需要从网络资源获取和网络资源使用两方面进行创新。

网络资源获取包括设备定制和频谱灵活使用。设备定制方面，为满足地下矿安规需求，需对现有基站等设备进行隔爆或本安化改造，需针对巷道、综采面等狭长覆盖场景研发满足 6W 发射功率限制要求的专用基站；频谱方面，地下环境比较狭窄，无线信号的传输除了受到传统频率越高，损耗越大的传播特性影响外，还受到菲涅尔区的特性影响，无线信号的主能量主要依靠菲涅尔区的 LOS 传播，频率越低则菲涅尔区半径越大，当半径大于隧道半径时，则能量发生损失，同时考虑煤矿安全要求，发射功率不能超过 6W，因此，中低频段是煤矿地下较为优选的频段，需结合覆盖、容量、成本等因素，加速优质频谱资源的重耕和发掘，实现场景化的高中低频协同。

网络资源使用主要指合理组合设备和频谱来构建优质网络，重点关注具有地下矿山特色的弹性组网技术和高可用组网技术。

3.1.1 弹性组网技术

地下网络覆盖存在时间和空间弹性需求。空间上，与地面蜂窝网络“面”覆盖为主不同，DMN 网络以“线”覆盖为主，覆盖方向需要根据巷道等走向灵活调整；时间上，掘进面一般以每日 5~10 米的进度不断延伸，综采面一般以每日 8~10 米的进度持续回采，DMN 网络要跟随生产进度动态移动，且网络设备可能安装在液压支架等可移动设备上，存在线缆拉扯易受损等问题，需要网络可敏捷部署、灵活移动。

通过信号中继器、移动式部署、IAB 等创新方案，全面提升网络覆盖能力和覆盖灵活度，构建 DMN 弹性组网能力，实现网随业动：

1) 信号中继器部署。信号中继器可直接放大信号强度，扩展覆盖距离，包括直放站、满格宝等多种设备形态，信号中继器可多级级联，叠加定向高增益天线等，实现井下稀疏基站部署时的较优信号质量；同时，信号中继器仅需连接供电线缆，线缆磨损影响较小，适用于液压支架等安装环境。现阶段 5G 信号中继器设备已基本成熟，后续推动其防爆改造和频率适配，同时，结合井下特殊信号传播环境，攻关信号中继器组网方案。

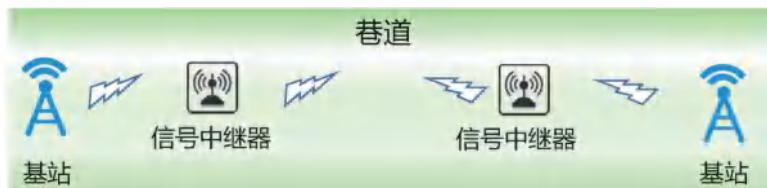


图 3-2 5G DMN 信号中继器组网技术

2) 移动式部署。移动式基站可通过 4/5G 无线网络回传，无需依赖有线传输资源，一方面实现业务移动时网络的快速移动和部署，另一方面避免光纤磨损导致的传输中断问题，提升回传可靠性。移动式基站部署方案现阶段已基本成熟，后续需推动回传 CPE 单元的防爆改造和性能增强。

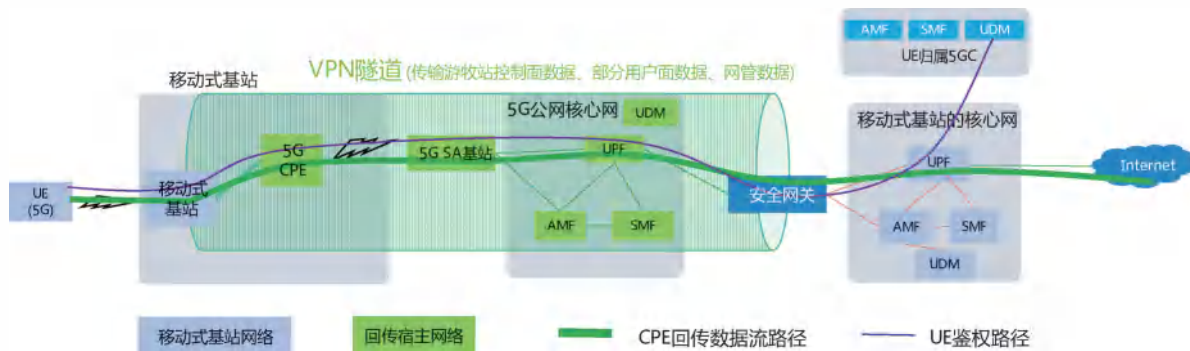


图 3-3 5G DMN 移动式基站组网技术

3) 其他演进技术。为提升级联效率，接入回传一体化IAB技术也需积极研究。IAB宿主基站通过空口接收下级基站的数据，并在内部进行协议栈的解析和处理，避免多次封装，支持多级级联，目前已完成标准制定，产业正在加速成熟。

3.1.2 高可用组网技术

极高可用性是地下网络刚需。一方面，DMN嵌入煤矿作业核心流程，网络连续不间断是保证矿山无人化、少人化正常生产的基础条件，断网带来的安全风险、经济损失极其巨大；另一方面，下矿维修成本极高，甚至有人员安全风险，要求设备具有极高可靠性。基于安全第一的原则，煤矿有意愿投入更多资源来确保网络高可用。

在设备高可靠性设计的基础上，进一步通过设备冗余、链路备份、惯性运行等技术，实现端到端网络的超高可用性。

1) 设备高可靠性设计。DMN由运营商建设，采用电信级设备，通过严格的测试验证和现网检验，可靠性。

2) 设备冗余。终端、基站、传输网、核心网等网元设备均可按需冗余备份，实现不同等级的高可用。如基站侧可采用站内关键单板冗余，如BBU电源板、主控板、基带板、射频模块等，也可按需采用双网双频冗余。核心网用户面可采用MEC负荷分担实现冗余，必要时也可通过UPF+内置轻量化核心网实现本地容灾部署。

3) 链路备份。传输侧可通过传输网络环状组网、链路聚合控制等技术形成多传输链路。无线侧可采用移动式多链路回传方案，4/5G无线回传、有线回传与卫星回传系统协同作业，互为备份。

4) 惯性运行。针对极端情况，基站可引入本地业务保活功能，结合数据本地分流和本地处理，在传输链路或核心网故障后，基站仍能惯性运行，保持本地业务持续在线作业，甚至允许紧急接入。

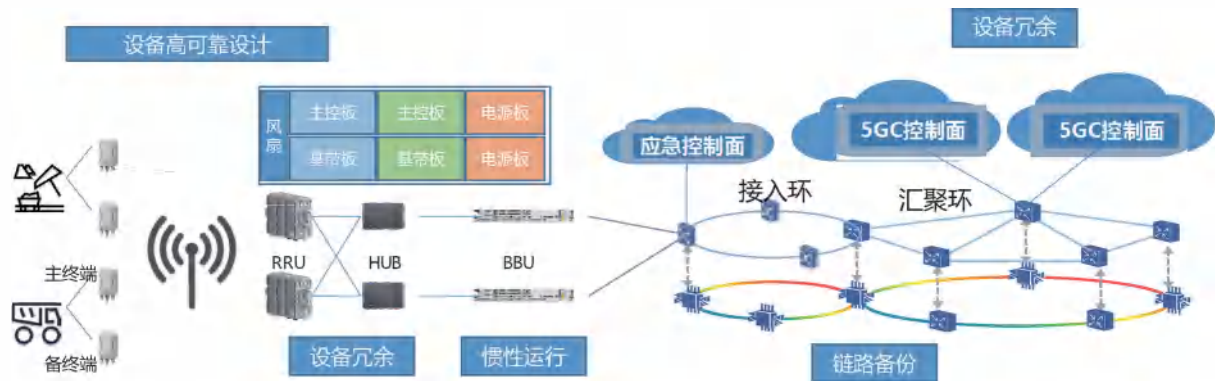


图 3-4 5G DMN 高可用组网技术

3.2 性能极致

为了满足地下煤矿业务的极致性能需求，5G DMN不仅需要积极引入已有增强技术并推进演进，更需结合地下矿特点进行引领性创新。

DMN存在海量数据采集、设备远程控制等高性能需求应用，需积极引入超大物联、确定性速率、确定性时延、安全可信等增强技术。全面的环境感知是煤矿安全的基础，海量、多种类的传感器（温度、湿度、瓦斯、气压、风量、风压…）需要强大的高中低速物联能力，包括但不限于NB-IoT、RedCap等。远程操控是无人化少人化的关键路径，对确定性的速率和确定性时延有极高要求，一是需要空口增强和本地分流方案有效提升URLLC性能，如mini-slot、重复传输、本地分流等，二是通过优先级调度和资源预留等保障确定性，如GBR、切片资源预留等。煤矿生产涉及国家经济命脉，对安全性有极高要求，需积极研究和引入接入控制、空口加密、数据安全、切片安全、MEC安全、态势感知等技术。

DMN地理环境特殊，且对大上行和高精度定位等的性能需求在所有垂直行业中较为突出，需重点攻关超级上行和高精定位等引领性创新技术。

3.2.1 超级上行技术

DMN需具备极致上行能力：“看得见、看得清”是矿山无人化、少人化的基础，安全监管、设备监控、综采面远程操控等典型业务均需要高清视频回传，且存在设备密度大、并发用户多、超高清演进等特征，需要极致的大上行传输能力。

通过频谱资源灵活组合、上下行配比弹性调整和设备能力定制增强，全面提升网络上行容量和单用户峰值速率，构建DMN超级上行能力：

1) 频谱资源灵活组合。地下网候选频谱资源丰富，通过上行载波聚合、补充上行（SUL）等技术，实现高中低频的灵活组合，多频协同，不仅有效提升上行边缘速率，更可大幅提升上行峰值和小区容量。在现阶段主力频段CA和SUL基本成熟，上行峰值超过1Gbps的基础

上，后续将进一步攻关更多特色频段的组合以及频段创新应用方案。

2) 上下行配比弹性调整。地下网为物理全封闭场景，与地面公网基本无频率干扰风险，可充分发挥 5G TDD 网络灵活帧结构特点，按需配置更多的上行时隙资源，显著提升上行性能。目前 3U1D 帧结构已基本成熟，上行时隙资源较公网典型配置增加 3 倍，上行峰值速率可到 750Mbps，后续还可推动更多大上行配比的产业成熟，进一步攻关灵活双工等技术，提升网络匹配业务能力和组网效率。

3) 设备能力定制增强。DMN 网络多为狭长空间覆盖，空间隔离度较好，可研发空分复用等分布式 MIMO 增强技术，有效提升网络容量；DMN 行业终端通常对体积、功耗不敏感，可定制开发高功率、多天线行业专用设备，大幅提升上行性能。

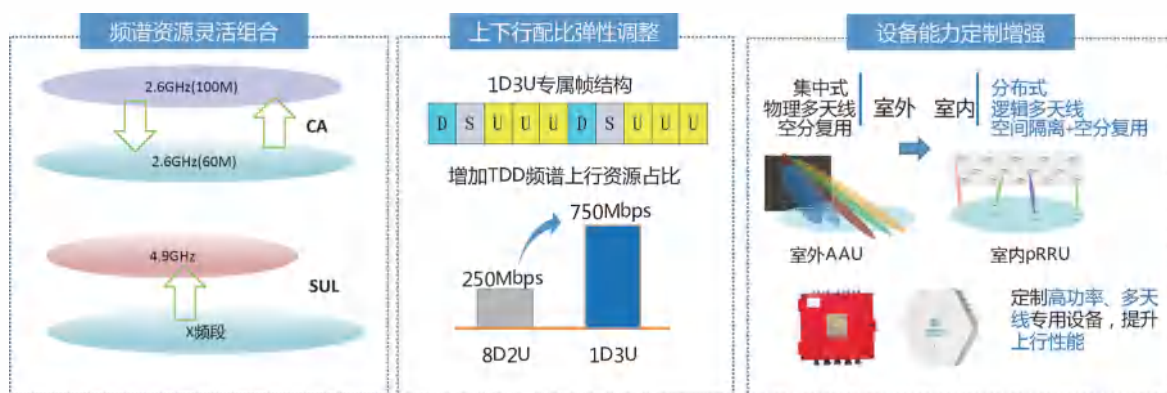


图 3-5 5G DMN 超级上行系列技术

3.2.2 高精定位技术

DMN 需具备高精定位能力：一方面安全监管是煤矿的核心诉求，安全区域管控、资产管理、动态行程监测，甚至应急救援等业务均需要高精定位能力的支持。另一方面，基于高精度定位的无人驾驶、井下资产和人员的精准调度对于提高生产作业效率都具有重要意义。

通过 5G 蜂窝定位技术或 5G+UWB 等融合定位技术，实现井下人员、车辆、设备的位置检测与精准定位感知。

1) 5G 蜂窝定位技术。基于 5G 通信信号，通过测量时间差 (UTDOA、RTT)、信号强度等实现精确定位，目前可提供 3~5 米定位能力，通过推动 R17、R18 标准技术演进，有望达到亚米级。针对地下矿频谱资源丰富的特点，以分米级定位为目标，攻关超大带宽定位技术，研究高精度同步和载波相位定位技术。针对三点定位较难实现的狭长巷道等场景，攻关 RTT/TA+AOA 等双站或单站定位技术。针对海量传感器定位需求，攻关低成本低功耗定位专用终端方案。

2) 5G+ 泛无线融合定位技术。在 5G 蜂窝定位无法完全满足需求的场景，通过 5G 融合其他定位技术，实现“一网一站”。目前电子围栏技能防呆、自动矿卡等业务，需要亚米至分

米级高精度定位，可通过 5G+UWB 满足。5G 为 UWB 设备提供供电、传输、站址等资源，可有效降低部署和运维成本，实现通信、定位一张网。

3.3 一网多能

为了满足煤矿数智化应用需求，实现连接+算力+能力打包交付，需要开展跨领域的融合创新，攻关多网融合技术和云网业融合技术，打造基于 DMN 的融合一体数字底座。

多网融合实现万物互联。一是需进一步增强 5G eMBB、URLLC、mMTC 三大场景连接能力，同时承载语音通信、窄带传感、宽带视频、控制命令等多维数据，并可通过频谱共享等技术兼容 4G、NB-IoT 等存量终端设备。二是需攻关基站灵活外挂泛无线设备方案，实现 5G 与 UWB 定位网络、短距/无源通信网络的一体融合，实现多维感知。三是进一步攻关 5G+TSN/OPCUA 等技术，加速 5G 深入 OT 网络现场总线层面，实现作业流全流程打通。

云网业融合技术实现算网一体，能力开放，网业协同，具有数据安全、敏捷易用等特点，地下煤矿场景存在迫切需求，需重点攻关。

3.3.1 云网业融合技术

DMN 对云网业一体能力需求迫切：一方面是煤矿行业对数据安全非常重视，需要通过云网业一体设备实现本地分流，确保本地数据不出场；另一方面是远程采掘等自动化控制应用、故障应急处置等业务对时延敏感，需要数据就近处理。除此之外，煤矿行业还对云网业一体设备存在特别的需求，一是节省传输：为实现弹性组网，部分场景需采用无线回传，传输带宽可能受限，需要云网业一体设备集成视频压缩、AI 识别等应用来有效降低回传带宽需求；二是增强高可用性：为实现高可用组网，基站需支持惯性运行模式，核心应用下沉到本地部署可确保传输或核心网故障时业务不中断；三是降成本：地下矿用设备需隔爆处理，在业务应用下沉矿井部署的场景，基站必须下沉，将应用集成到云网业一体设备中可有效减少传输设备、核心网设备安规改造需求，减少风险点，降低成本；四是促融合：多网融合场景，网络设备集成算力可实现其它网络数据的就近统一处理，实现数据融通。

通过传统网络设备集成算力，打造云网业一体化解决方案，IaaS、PaaS、SaaS 层全面创新，提供本地优质连接+本地充足算力+本地丰富能力的一体化服务。

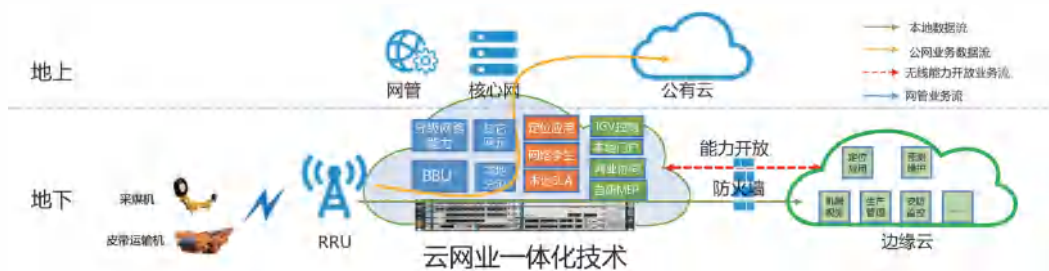


图 3-6 云网业一体化技术

1) 本地分流：通过云网业一体设备实现本地数据路由功能，可根据网管配置将本地数据就近卸载，确保业务生产数据不出矿区，保障数据安全，需支持IP地址、切片ID等多种分流规则。

2) IaaS创新：云网业一体设备通过新增板卡、服务器等方式集成算力，需进一步研究裸机容器、算力弹性扩展编排等技术。

3) PaaS创新：集成中国移动自研的MEP平台，支持将定位、带宽、SLA指标监控等无线特色能力开放，实现矿山各类业务场景对网络能力的灵活调用，如基于定位能力的开放实现人员车辆的定位管理，基于信道带宽实现监控视频流码率的灵活调整，实现网业协同。需进一步丰富开放能力。

4) SaaS创新：一是可集成CT网络优化应用，如网络自动优化、SLA保障等，二是可集成IT数据通信应用，如NAT转换、协议转换等，三是可集成OT核心应用，如电子围栏、视频监控、视频压缩和AI识别等。需进一步完善生态，攻关更多核心应用。

3.4 运维极简

5G DMN网络具备良好的兼容性和优异的性能，通过统一的运维平台，解决现场运维难度大、多网异构维护效率低的问题，既能简化部署和运维，又能满足各种业务的差异化诉求。

3.4.1 自主化技术

5G DMN基于一站式矿山专网运营平台，提供自主化、自动化和智能化运维能力。井下空间狭窄，线缆布放复杂，现场维护难度大，成本高，亟需提升远程运维和自动化运维水平。5G DMN网络基于一网多能的融合架构基础，通过矿山5G专网运营平台提供专网自服务、网络自运维与自开发等核心能力，提升矿山的生产管理效率，助力企业向管理极简、智能化转型。

1) 平台自运维实现网络SLA自主监控和故障诊断：平台支持统一数据入口和统一网管实现网络性能和业务质量的集中监控、告警与故障定界等，实现对网络资源和网络SLA质量的可视可管，满足煤矿对网络的监管需求；

2) 平台自服务实现网随业动和敏捷保障：平台提供物联卡连接管理能力、切片运营能力与边缘计算节点管理能力，实现对卡、切片与边缘资源的自主管理能力；支持业务需求分解和下发、分级分档的网络资源配置管理，支持随煤矿业业务自主及时调整网络能力；同时可基于实时监控实现闭环网络优化和故障自愈，为综采面远程控制等时延敏感业务提供敏捷保障，助力远程自动化、智能化运维，一站式统筹管理；

3) 平台自开发实现能力开放和业务按需定制：平台将自服务、自运维等核心能力进行封装，提供标准化API接口，通过能力开放的形式支撑矿山业务的自主开发需求。如：井下定制

化数字孪生把网络拓扑、网元设备状、关键网络性能指标、故障告警内容向煤矿客户开放辅助进行全局生产管理与决策。



图 3-7 5G 矿山网络管理平台

四、5G DMN 发展倡议

中国移动致力于成为网络强国、数字中国、智慧社会的主力军，积极联合华为、行业协会、龙头矿企、高校等产业合作伙伴构建 5G DMN 产业生态，助力我国矿山行业安全生产和智慧化发展。

当前，中国移动 5G 地下移动通信网络研发已取得阶段性进展。在主管部门和行业客户的大力支持下，在华为等产业伙伴的共同努力下，端到端的矿山地下 5G 网络已在全国众多矿山部署，初步满足大上行、深覆盖、广物联等需求，实现了地下高清监控、无人巡检、无人矿车、设备监控等系列智慧矿山应用。

面向未来，中国移动将继续联合广大产业合作伙伴，以构建“连接泛在”、“性能极致”、“一网多能”、“运维极简”的精品地下智能化综合性通信网络为目标，从技术、标准、产业、生态四方面推进 5G DMN 产业发展。我们倡议政、产、学、研、用各界紧密合作，实现“四个共同”，共创 5G DMN 产业繁荣生态：

1) 技术共同攻关。针对矿山“无人化、少人化、高效化”的发展需求，结合地下覆盖场景的特殊条件和业务特征，持续攻关覆盖增强和弹性组网技术，持续加强超级上行、高精定位、超高可用、超大物联、确定性网络等性能提升技术研究，简化网络运维，确保安全可行，加速多网融合和云网业协同。

2) 标准共同制定。一是行业参与 3GPP、CCSA 等通信行业标准制定，进一步聚焦和明确需求，深化行业融通；二是矿山行业、通信行业等各方联合制定智慧矿山国家/行业标准，联合优化安规指标，促进行业规模发展。

3) 产品共同创新。一是持续推动矿用设备 5G 化，研发更多内置 5G 芯片/模组并定制能力增强的矿用终端；二是持续优化专用网络设备，在隔爆基础上进一步研发本安基站，进一步丰富矿用基站站型；三是持续完善矿山专网运营平台，更全能、更开放、更智能。

4) 生态共同繁荣。产业各界持续拓展地下网场景，持续丰富和推广智慧矿山应用，打造繁荣、健壮的地下矿山产业链、创新链，促进矿山行业更安全、更高效、更低碳，共同创造和分享数智化升级成果。

5G DMN 起始于矿山，但不止于矿山。未来，在打造地下矿山标杆的基础上，5G DMN 还将拓展至地下电力综合管廊、地下救援等更多的场景。我们倡议各界携手，开创更广阔的井下数智经济发展空间，促进井下通信产业的范式变革。

五、缩略语

英文缩写	英文全称	中文释义
5G	5th Generation Mobile Communication Technology	第五代移动通信技术
SUL	Supplementary Uplink	补充上行
NB-IoT	Narrow Band Internet of Things	窄带物联网
IAB	Integrated Access Backhaul,	集成接入回传
FDD	frequency division duplex	频分双工
TDD	time division duplex	时分双工
VoLTE	voice over LTE	LTE语音承载
BBU	Base Band Unit	基带处理单元
LORA	Long Range	远程物联网
MEC	Mobile Edge Computing	移动边缘计算
UWB	ultra wideband	超宽带
OICT	Operational、Information、Communication Technology	运营、信息、通讯技术
TSN	Time Sensitive Network	时间敏感网络
LOS	line of sight	视距
CA	carrier aggregation	载波聚合
D-MIMO	distributed multiple-input multiple-output	分布式多入多出
URLLC	ultra-reliable low-latency communication	超高可靠性超低时延通信
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	增强移动宽带
mMTC	Massive MachineType Communication	大规模机器类通信
UPF	user plane function	用户面功能
UTDOA	Uplink Time Difference of Arrival	上行到达时间差
RTT	Round Trip Time	往返时延

续表

英文缩写	英文全称	中文释义
RedCap	Reduced Capability	轻量级5G
GBR	Guaranteed Bit Rate	保证比特率
UPF	user plane function	用户面功能网元
AMF	access management function	接入管理功能
SMF	session management function	会话管理功能
UDM	unified data management	统一数据管理
MEP	Multi-access Edge Platform	多接入边缘平台
PaaS	platform as a service	平台即服务
SaaS	software as a service	软件即服务
SLA	Service Level Agreement	服务水平协议
PLC	programmable logic controller	可编程逻辑控制器
AGV	Automated Guided Vehicle	自动导引运输车
CPE	customer-premises equipment	移动信号接入设备
CCSA	China Communications Standards Association	中国通信标准化协会
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划

六、编制单位及人员

指导单位及人员：

中国煤炭协会：张建明、郭林峰

中国矿业大学（北京）：孙继平

编写单位及人员：

中国移动政企事业部：刘刚、郝晓龙、杨鹏、冯海荣、李乐田、张雅君

中国移动研究院：黄宇红、丁海煜、邓伟、程锦霞、张龙、曾凯越、徐芙蓉、邢源日、孙朝、王昕怡、于天意、刘姗姗

华为技术有限公司：孙震涛、石波、卫正华、杨义、段建国、刘仁桂、蓝华、王宏伟、葛唱、肖力、杨柳、陈忍忍、乔廷阳

