

ICS 点击此处添加 ICS 号

CCS 点击此处添加 CCS 号

T/CAICI

中国通信企业协会团体标准

T/CAICI XXXX—XXXX

5G 智慧矿山专网应用技术规范

5G Smart Mine Network Application Technical Specification

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国通信企业协会 发布

目 次

前言 III

引言 IV

1 范围 6

2 规范性引用文件 6

3 术语和定义 6

3.1 5G 智慧矿山专网 6

3.2 网络切片 6

3.3 MEC 边缘计算 6

3.4 5G LAN 6

3.5 时间敏感网络 6

3.6 虚拟专网 7

3.7 混合专网 7

3.8 独立专网 7

4 缩略语 7

5 5G 智慧矿山专网关键技术 7

5.1 网络切片 7

5.2 MEC 边缘计算 7

5.3 5G LAN 7

5.4 时间敏感网络 8

6 5G 专网网络架构 8

6.1 虚拟专网 8

6.2 混合专网 8

6.3 独立专网 8

7 5G 专网网络设计及部署方案 8

7.1 整体设计原则 8

7.2 网络部署方案设计 9

7.3 时延抖动设计 11

7.4 带宽保障设计 12

8 5G 专网场景化应用 13

8.1 智能综采面 13

8.2 智能掘进面 14

8.3 井下安全生产监管场景 15

8.4 井下无人电机车场景 16

8.5 智能煤流运输场景 17

8.6 智能排水场景 18

8.7 智能供电场景 19

8.8 智能通风场景 20

8.9 智能压风场景 21

8.10 智能地质保障场景 22

8.11 露天矿山设备远程控制场景 23

8.12 露天矿山无人驾驶系统..... 24

8.13 露天矿山卡车智能调度系统..... 25

8.14 露天矿人员定位系统..... 26

8.15 露天矿边坡监测系统..... 27

8.16 露天矿视频安防系统..... 28

8.17 露天矿环境监测系统..... 29

9 安全防护..... 30

9.1 物理安全..... 30

9.2 网络安全..... 31

9.3 数据安全..... 31

9.4 应急安全..... 32

10 运营管理..... 32

10.1 运维体系建设..... 32

10.2 网络质量监控..... 32

10.3 成本优化管理..... 33

10.4 人员培训与考核..... 33

参考文献..... 35

索引..... 36

图编号和图题..... 37

表编号和表题..... 37

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国通信企业协会标准化管理委员会提出并归口。

本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件起草单位：中国移动通信集团设计院有限公司内蒙古分公司、中国移动通信集团内蒙古有限公司、中国联合网络通信有限公司山西省分公司、通号通信信息集团有限公司、河南省信息咨询设计研究有限公司、内蒙古智能煤炭有限责任公司、上海山源电子科技有限公司、几维通信技术（深圳）有限公司、上海邮电设计咨询研究院有限公司、中国移动通信集团设计院有限公司无线所、中国矿业大学人工智能研究院、辽宁工程技术大学、中国矿业大学矿业工程学院、北京踏歌智行科技有限公司、新华三技术有限公司、贵州省煤矿设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：王学敏、王岩、王婷婷、李向荣、高旭升、李强、岳飞山、苗春雷、樊瑞、高雪峰、罗静、张琳、徐迪、刘仑、徐哲、许锐、曹阳阳、宋静川、郭昌放、霍丙杰、冯秀娟、杨群会、徐深超、鲍爱钢、李遂红。

本文件为中国通信企业协会首次发布。

引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到……[条]……与……[内容] ……相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：……

地址：……

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

5G 智慧矿山专网应用规范

标准名称	发布主体	适用范围	核心侧重点	关键技术内容	标准定位 / 核心价值
《5G 智慧矿山专网应用规范》(CAICI 2022-32)	中国通信企业协会	覆盖全类型矿山：- 井工矿山（煤矿、金属非金属井工矿）- 露天矿山（露天煤矿、金属非金属露天矿） ✕ 排除“消费级 5G 民用网络临时部署”场景	1. 端到端全生命周期规范：从架构设计、网络部署、设备选型，到安全防护、运营管理；2. 差异化实操性：细化专网建设技术指标（如时延≤20ms），融合设备产品方案；3. 商业落地导向：明确成果转化量化目标（带动区公司政企收入超千万元）	- 组网：支持独立专网（集团级 / 矿井级）、混合专网两种模式；- 场景方案：覆盖井下采掘远程操控、地面无人矿卡、跨场景数据交互；- 安全与运营：设备故障预警准确率≥90%，提供全流程运维建议	【全场景实操规范】1. 国内首个覆盖“井下 + 地面 + 跨场景”的通用型落地指南；2. 打通“技术标准 - 产品融合 - 商业价值”链路，兼顾规范性与经济性；3. 支撑矿山从“试点”向“规模化复制”转型
《面向矿山行业的 5G 专网通信标准体系研究》(SR 520-2025)	中国通信标准化协会 (CCSA)	覆盖全类型矿山：- 井工 / 露天矿山，煤炭 / 非煤矿山均适用；聚焦“矿山自动驾驶、装备远程控制”等典型场景	1. 标准体系顶层设计：首次构建“系统总体 + 系统设备”两大模块的矿山 5G 专网标准体系架构；2. 研制路径规划：明确“总体技术要求、基站 / 终端设备、测试验收”等子标准的制定顺序；3. 跨规范衔接：衔接矿山安全生产规范（如 GB 3836 防爆标准）与 5G 通信技术标准	- 技术需求：明确覆盖增强、上行增强、低时延控制（核心场景时延≤20ms）等关键需求；- 体系模块：① 系统总体（总体技术要求、场景应用要求）② 系统设备（基站、终端、CPE、模组技术要求）；- 支撑作用：为后续国标 / 行标提供通信技术基础框架	【体系蓝图与基础支撑】1. 解决“标准碎片化”问题，统一矿山 5G 专网标准研制方向；2. 衔接“通信行业技术标准”与“矿山安全 / 能源行业标准”，消除技术壁垒；3. 为设备研制、网络部署提供“顶层设计参考”
矿山 5G 专网系列中国通信行业标准（如《面向地下煤矿的 5G 专网总体技术要求》《面向地下煤矿的 5G 专网基站设备技术要求》）	中国通信行业	按矿山类型 + 设备类型细分：- 按场景：地下煤矿、露天煤矿、非煤矿山；- 按设备：基站、终端、CPE、定位终端	1. 分场景设备技术要求：针对矿山特殊环境（井下高温高湿 / 露天地形复杂）制定设备差异化指标；2. 测试方法标准化：明确基站、终端的硬件（防爆、抗粉尘）、功能（帧结构、网络切片）测试流程；3. 底层通信协议：补充矿山 5G 专网的上行增强（补偿上行、载波聚合）、低时延控制协议要求	- 基站设备：井下基站需满足 GB 3836 防爆要求，覆盖半径≥500m（露天）；- 终端设备：定位终端精度≤5m（井下），待机功耗降低≥20%；- 组网：强制要求“独立组网闭环管控”，数据不出矿区	【分场景设备 / 系统细则】1. 填补“矿山 5G 设备专项技术要求”空白，避免设备兼容性问题；2. 为矿山 5G 专网“设备选型、测试验收”提供直接技术依据；3. 支撑 SR 520-2025 体系架构的落地（子标准细化）
《面向矿山行业的 5G 虚拟专网技术要求》	中国联合网络通信集团（牵头）、中国信通院、陕西延长石油、中国矿业大学等	按矿山细分类型专项覆盖：1. 煤炭井工矿 2. 金属井工矿 3. 露天矿（煤炭 + 金属矿）聚焦“5G 虚拟专网”技术场景	1. 虚拟专网专项技术：规范 5G MEC 高可靠性、载波聚合、5G 定位在矿山的应用；2. 全流程虚拟专网要求：涵盖组网、容灾、安全、运维运营；3. 行业痛点适配：针对不同矿山类型的生产特点（如金属矿深部开采、露天矿移动设备多）制定差异化方案	- 组网：复用运营商核心网控制面，降低初始投资；- 容灾：要求虚拟专网具备“故障秒级切换”能力；- 安全：满足矿山数据闭环管控，支持网络切片硬隔离；- 运维：需提供“设备状态实时监测 + 故障预警”功能	【虚拟专网专项指南】1. 填补“矿山 5G 虚拟专网”标准空白，适配中小矿山低成本需求；2. 平衡“成本控制”与“数据安全”，推动虚拟专网规模化应用；3. 与独立专网标准形成互补（覆盖不同预算 / 规模矿山）
《面向矿山的“5G + 工业互联网”应用场景及技术要求》(T11/AII 024-2021)	工业互联网产业联盟	全类型矿山（井工 + 露天）的 5G + 工业互联网融合场景	1. 场景化技术映射：将矿山分为 5 大场景（露天设备远控、井下无人采掘等），明确“业务需求 - 网络指标”对应关系；2. 工业协议兼容：强制支持 Modbus、MQTT 等工业协议，解决“信息孤岛”问题	- 井下无人采掘：上行带宽≥100Mbps（支撑 4K/8K 视频）；- 露天无人矿卡：时延≤30ms，丢包率<0.1%；- 数据交互：查询响应≤3s（50 点内），报警响应≤2s	【5G + 工业互联网融合桥梁】1. 打通“5G 技术特性”与“矿山工业需求”，避免技术与业务脱节；2. 为矿山“数据互通、跨系统协同”提供标准依据

本标准与现有主流类似标准的对比

本标准聚焦5G技术在智慧矿山的全场景落地，相较于现有主流类似标准，在矿山场景适配性、技术细节深度及应用落地指引方面形成差异化优势。以下从适用范围、技术焦点、矿山适配性、安全要求四个维度，与国际及国内主流相关标准进行对比：

综上，本标准在现有标准基础上，填补了“5G技术-矿山场景-安全运营”的全链条规范空白，既衔接通用工业5G标准，又针对矿山特殊环境形成专属技术要求，更具落地指导性。

1 范围

本标准规定了5G智慧矿山专网应用的网络架构、网络设计及部署等方面的技术要求。

本标准适用于指导5G矿山企业的智慧化信息系统设计和建成。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T

GB/T

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 5G 智慧矿山专网

5G智慧矿山专网是指应用运营商5G授权频段，在矿山园区实现网络信号覆盖，为矿山在组织、指挥、管理、生产、调度等环节提供通信服务的专业网络。根据5G专网的实现方式分为虚拟专网、混合专网和独立专网。

5G作为新一代网络技术，具备低时延、高宽带、广连接的性能优势，同时具有轻量化、小型化、模组化、本地安装化、高可靠和移动应用等优势，有效应对矿山独特的部署环境，构建具有复杂精密系统的智能化矿山，实现胶轮车视频语音双向通讯、设备和机器人远程控制、无人驾驶、井下远程巡检会诊、4K高清视频数据传输、重要区域海量传感器检测等地面到井下的数字化改造，在保障矿山开采全流程安全稳定的前提下，进一步推动矿山企业实现降本增效的核心目标。

3.2 网络切片

提供特定网络能力和网络特征（如资源隔离、SLA保障特性等）、为客户提供多种业务属性的逻辑网络。

3.3 MEC 边缘计算

在移动网络边缘提供IT服务环境和云计算能力。移动边缘计算可以被理解为在移动网络边缘运行云服务器，该云服务器可以处理传统网络基础架构所不能处理的任务，在研究初期MEC中的“M”是指“mobile”，特指移动网络环境，随着研究不断深入，“M”拓展为“multi-access”，旨在将边缘计算的概念扩展到Wi-Fi等非3GPP接入的场景下，“移动边缘计算”逐渐过渡为“多接入边缘计算”。

3.4 5G LAN

5G LAN 又称5G局域网，是一种基于运营商的5G网络与授权频段提供私有化移动LAN服务的网络。

3.5 时间敏感网络

时间敏感网络是一系列技术的总称,这些技术用来在传统以太网基础上构建具备时间敏感特性的新型网络,提供具有确定性时延的数据传输能力。

3.6 虚拟专网

5G虚拟专网指基于运营商5G公众网络资源,利用端到端切片及QoS技术,为客户提供一张时延和带宽优先保障、与公众网络普通用户数据隔离的虚拟专有网络,为客户提供特性的SLA保障。

3.7 混合专网

混合专网以5G数据分流技术为基础,通过灵活定制无线基站和控制网元,为客户构建一张增强带宽、低时延、数据不出园的基础连接网络。

3.8 独立专网

5G独立专网利用5G组网、切片、和MEC边缘计算等技术,采用私有化部署无线设备和核心网一体化设备,为客户构建一张增强带宽、低时延、物理封闭的基础连接网络,实现用户数据与公网数据完全隔离,且不受公网变化影响。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

5G 第五代移动通信技术 (5th Generation Mobile Communication Technology)

5G LAN 第五代移动通信技术局域网 (5G Local Area Network)

MEC 多接入边缘计算 (multi-access edge computing)

5 5G 智慧矿山专网关键技术

5.1 网络切片

网络切片作为一种按需组网方式,它是在基础设施上分离出多个虚拟的端到端网络以适应各种不同类型的应用。端到端网络切片包含核心网切片、无线切片以及传输切片等子切片。子切片能够单独管理,但不能提供单独的网络功能。无线网切片技术提供基于切片的频段、PB资源、有限级配置等隔离保障手段;传输网切片技术实现了软、硬管道的保障;核心网切片技术实现C/U分离、云化服务化、切片业务能力以及能力开放等。

5.2 MEC 边缘计算

多接入边缘计算核心是开放的分布式平台,在网络边缘靠近数据源就近提供网络、计算、存储及应用服务,满足行业专网在连接、实时、数据优化、智能和安全的诉求。5G矿山专网通过将MEC边缘计算服务器部署在用户本地园区、办公大楼内部,通过数据库服务器下沉至本地,实现敏感数据不出园区、涉密数据不出大楼,保护用户的数据安全。通过计算卸载技术、无线数据缓存技术和基于软定义网络的本地分流技术。MEC能够有效提高计算处理和数据传输效率,缩短网络对终端用户的响应时间,保证终端用户数据业务需求的连续性,大幅度降低核心网的数据流量压力,提升终端用户的服务体验。

5.3 5G LAN

3GPP 在 R16 阶段定义了 5G LAN 技术，旨在解决传统行业无线专网的接入链路可配置能力差、专网部署不灵活等问题。5G LAN 内部保证用户园区内移动性，实现点对点、一点对集群等多种通信方式，允许限定的终端组在该交换环境内进行基于 Ethernet 或 IP 的 P2P 通信，以支持矿山生产。

5G LAN 能够向矿山客户客户提供 L3 层 VPN 服务（IP VRF 转发）以及 L2 层 LAN 服务（Ethernet 局域网），同时 5G LAN 也支持用户移动性，支持细分子网以及基于子网的管理能力。这些特性有助于解决传统行业客户专网中存在的问题。5G LAN 通过 5G 网络用户面模拟 L2 以太网传输实现用户面 L2/L3 交换，在同一 5G 控制面控制域内或跨域 5G 控制面之间，通过用户面切换或 GTP-U 隧道的方式实现专网内部私有通信。5G LAN 内部采用动态组播和广播技术，支持终端动态加入 LAN 组组播，本地 5G LAN 可以动态生成路由表，支持以太网层二本地交换。

5.4 时间敏感网络

时间敏感网络采用标准以太网网络层二技术实现信息的可靠传输，通过集中管理和协调调度确保实时应用的可靠性能。R16 5G 标准可与现有有线时间敏感网络系统交互工作。5G 系统定义了用于与时间敏感网络设备和系统交互工作的适配器，可将时间敏感网络的配置映射到 5G 服务质量框架中，通过报头压缩实现以太网帧的高效传输。此外，5G 系统时间可为工业设备提供微秒级的精确同步。TSN 技术可广泛应用于航空航天、汽车、运输、公用事业和制造业等行业。

6 5G 专网网络架构

6.1 虚拟专网

5G 虚拟专网指基于运营商 5G 公众网络资源，利用端到端切片及 QoS 技术，为客户提供一张时延和带宽优先保障、与公众网络普通用户数据隔离的虚拟专有网络，为客户提供特定的 SLA 保障。虚拟专网能够满足有一定数据安全、业务质量及隔离性的业务需求，适用于智慧城市、智慧景区、新媒体、高端小区及办公、智能交通（含自动驾驶）等广域专网应用场景。

6.2 混合专网

5G 智慧矿山混合专网可根据需要进行共享基站或专有基站的灵活部署；数据面 UPF 下沉到矿山园区，客户可直接访问 MEC 平台和自建数据中心，实现数据本地卸载和处理。混合专网能够满足较高安全、较高数据隔离的业务需求，适用电力、工业制造、交通物流等局域开放的应用场景。

6.3 独立专网

独立专网的无线基站独立部署，实现无线信号全覆盖；核心网控制面网元与大网共用，UPF、AMF、SMF 网元进行私有化部署，业务数据不出园区，企业专网与公众网络实现端到端完全隔离。独立专网能够满足低时延、大带宽、本地化、高安全、高隔离需求的业务需求，如矿井、油田、军队、码头等局域封闭的应用场景。

7 5G 专网网络设计及部署方案

7.1 整体设计原则

制定 5G 智慧矿山专网网络设计和部署方案，整体考虑专网的安全性、可用性、可靠性、兼容性原则，合理选择专网网络架构和技术方案。

a) 安全性：关注网元和业务层的隔离。独立专网在物理上完全与公网隔离；混合专网提供的独享资源满足业务独占要求，不与其他业务或其他用户共享，非独享资源要通过切片进行业务隔离；虚拟专网通过软切片或 DNN 等技术实现软隔离。

- b) 可用性：通过切片和端到端QoS为不同的业务提供不同的资源保障，以满足差异化应用服务需求。
- c) 可靠性：根据业务可靠性容忍度，按需进行端到端可靠性技术选择，对于高于99.99%的业务建议引入无线可靠性增强技术和5GC灾备技术。
- d) 兼容性：采用5G专网网络和5G CPE/模组解耦的原则，标准协议及多厂家接入对接，以适应业务多样化。

7.2 网络部署方案设计

5G智慧矿山专网网络部署方案设计重点关注资源隔离、时延抖动、带宽保障及接入用户等关键指标，满足不同行业应用对网络指标的差异化需求。

7.2.1 资源隔离设计

5G专网的资源隔离主要通过网络切片来实现，通过网络切片实现完全或部分、逻辑和或物理上隔离。物理隔离是指基于网络切片通过不同的机架，不同的硬件、位置等实现物理分离。无线网采用独立频段，传输采用FlexE/SPN管道，核心网通过DC隔离、DC内硬件隔离或专用UPF硬件隔离。逻辑隔离是指网络层在逻辑上实现分离。无线网采用共享RB、独享RB，传输采用VPN管道，核心网通过虚拟网络功能或切片标识实现隔离。虚拟网络功能隔离是通过将某些VNF专用于某个网络切片客户来实现核心网资源隔离的，切片标识隔离的核心网网元共享，通过切片标识区分不同客户的切片资源。按照切片之间的资源共享和独享程度，可以分为完全共享、部分独享、完全独享。

7.2.2 无线网方案

5G智慧矿山专网无线网设计与部署应结合矿山井下与地面差异化环境特性，遵循“频段适配+立体部署+抗扰优化”的核心设计思路，兼顾网络性能、业务需求、环境适配性及安全可靠，确保网络满足矿山各类业务稳定运行需求，同时支持与现有4G专网平滑衔接，保障业务连续性。

(1) 部署方式要求

基站部署应支持分布式与集中式两种部署方式，可根据矿山实际工况、业务分布及网络架构规划，灵活选择适配的部署模式，确保部署合理性与网络扩展性。

(2) 网络设计要求

网络设计应基于矿山各类业务的性能指标要求，科学确定站型选型、基站间距等核心参数，确保网络覆盖、容量、时延等性能指标满足业务运行需求，实现网络资源的最优配置。

(3) 业务与隔离要求

矿山5G专网应具备满足各类业务运行所需的服务能力，同时严格满足业务隔离需求，实现不同类型业务（如无人驾驶、生产监控、调度通信等）的独立传输，保障业务数据安全与传输稳定性。

(4) 无线信号衰减控制要求

基站部署应充分考虑矿山特殊环境影响，全面兼顾电磁干扰、环境损耗、频段特性等无线信号衰减因素，重点满足智慧矿山业务对信号强度、传输稳定性的核心要求，确保信号覆盖连续、无盲区。

(5) 网络衰减补偿要求

基站选址应科学合理，优先规避遮挡物对信号传输的影响；无线频段选择需综合权衡网络容量与覆盖范围，实现性能与需求的最优匹配；终端设备的信号接收天线应优先放置在车体外侧，提升信号接收质量，减少车体遮挡带来的衰减影响。

(6) 差异化部署规范

井下区域优先选用绕射能力强，适配井下巷道狭窄、遮挡物多的特殊场景，满足井下业务传输需求的频段；基站选用符合安标认证的防爆设备，结合频段能力及巷道环境，沿主巷道按200-500米的站间距合理部署基站，工作面采用矿用本安型皮基站按50-100米的站间距进行重点部署，确保井下全域信号覆盖无死角，保障井下作业区域网络稳定。

露天矿区域采用兼顾网络带宽与覆盖范围，满足露天矿大作业面、多设备的数据传输需求的频段；基站部署采用宏基站与小微基站结合的方式，在边坡制高点、采坑稳定区域、排土场周边采用环形部署宏基站，根据频段的选择与矿区应用场景的网络需求，基站间距控制在500-1500米，在大型设备遮挡区域增设小微基站，同时可考虑多频组网方案，弥补信号覆盖薄弱环节，实现露天矿全域网络覆盖。

(7) 抗干扰优化要求

网络抗干扰设计应针对矿山复杂电磁环境，采用自适应跳频技术，有效规避采煤机、变频器等矿山设备产生的电磁干扰；采用MIMO多天线技术，提升信号复用率与传输速率；井下基站应支持波束赋形功能，可精准聚焦作业区域，增强作业区域信号强度，降低干扰影响，保障网络传输稳定性。

(8) 网络衔接要求

5G智慧矿山专网无线网应支持与矿山现有4G专网的平滑切换，终端设备采用双模组设计，确保终端在5G与4G网络覆盖切换过程中，业务不中断、数据不丢失，保障各类矿山业务连续稳定运行。

7.2.3 承载网方案

5G智慧矿山专网承载网应采用“边缘下沉+管道隔离+冗余备份”的核心架构，以全光网络为基础，兼顾低时延、高可靠、可扩展特性，满足矿山井下与地面各类业务传输需求，实现数据高效、安全、连续传输，同时具备应急保障能力，适配矿山复杂工况场景。

(1) 业务与网络架构配置要求

矿山承载网应采用切片分组网技术，具备大规模连续覆盖能力，可满足矿山各类业务传输需求，同时具备端到端独立组网能力，保障业务传输的独立性与稳定性。

承载网应采用全光网络架构，支持网络切片、隧道隔离功能，可实现灵活组网，满足不同类型业务的隔离传输需求；同时具备环网保护能力，提升网络抗故障能力，保障业务不中断。

(2) 设备配置要求

承载网设备应配置完善的冗余保护机制，主控板、交换板、电源板均需采用1+1保护模式，确保设备运行的可靠性，避免单板故障导致传输中断。

针对光缆布放困难、易受损坏的场景，宜部署微波设备补充搭建传输链路，保障传输网的完整性与连续性，适配矿山复杂部署环境。

(3) 线路配置要求

传输环网上各传输节点两侧线路接口连接的光纤，应采用不同物理路由的光缆，避免单路由故障导致节点断连，提升线路传输可靠性。

相邻传输环之间，宜在两个及以上节点实现互通，构建冗余连接，规避单节点失效引发的业务中断风险，保障环网间业务传输的连续性。

核心汇聚环应满足不低于10GE的带宽要求，确保核心层数据传输的高效性，适配矿山各类高带宽业务（如视频回传、采掘控制等）需求。

(4) 差异化承载部署规范

井下承载网部署：井下承载网以光纤传输为主，选用矿用阻燃光缆沿巷道敷设，负责连接井下基站与地面汇聚节点；光缆链路敷设应避开高瓦斯区域及设备震动区域，并采取铠装保护措施，防止光缆损坏，保障井下传输链路安全稳定。

地面承载网部署：地面承载网采用分组交换技术，通过FlexE硬管道实现不同业务的物理隔离，为采掘控制、视频回传等各类业务分配独立带宽通道，确保业务传输互不干扰，保障业务质量。

(5) 冗余保护与应急保障要求

核心节点应部署汇聚交换机及光传输设备，设备需支持环网保护功能，当单条链路发生故障时，应在50ms内自动切换至备用链路，保障业务连续传输。

承载网应适配核心网边缘节点部署需求，在矿山园区机房设置本地承载汇聚点，实现井下与地面数据的本地卸载与转发，降低核心网传输压力，提升数据传输时延性能。

针对应急场景，承载网应预留卫星通信接口，当地面承载网发生中断时，可快速切换至卫星链路，保障应急通信业务正常开展，提升矿山通信应急保障能力。

7.2.4 核心网方案

5G智慧矿山专网核心网设计与部署应根据矿山专网类型实施差异化部署策略，兼顾网络安全性、灵活性与业务适配性，满足矿山各类业务低时延、高可靠、高安全的传输需求，支持业务快速上线与网络资源动态调整，适配矿山智能化发展需求。

(1) 网络架构与合规要求

5G智慧矿山核心网网络架构应采用独立组网(SA)架构，需严格符合YD/T3615-2019、YD/T3616-2019、YD/T3617-2019标准中关于网络架构、核心能力及技术要求的相关规定，确保网络架构合规、性能达标。

(2) 用户面(UPF)部署与能力要求

应在矿区数据机房专门部署核心网用户面(UPF)设备，满足矿区业务本地流量卸载需求，降低数据传输时延，保障业务响应效率。

核心网用户面(UPF)设备的业务吞吐能力、用户接入能力应与矿区实际应用场景、业务规模相匹配，确保能够稳定承载矿区各类业务数据传输。

核心网用户面(UPF)设备应支持设备级容灾功能，提升设备运行可靠性，避免设备故障导致业务中断，保障核心业务连续运行。

(3) 网络功能与安全要求

核心网应支持网络能力开放功能，便于矿山应用系统调用精确位置、带宽管理等网络连接能力，适配矿山智能化业务协同需求。

核心网应支持NAT(网络地址转换)功能，通过隐藏内部网络结构，将分流用户的源地址按照分配的煤矿专网地址池进行转换，提升内部网络安全性，防范外部网络攻击。

(4) 差异化部署规范

虚拟专网部署：采用“公网核心网+切片隔离”部署模式，复用运营商核心网资源，通过切片标识为矿山各类业务分配独立的网络资源；核心网网元需通过SLA协议保障业务传输时延 $\leq 50\text{ms}$ 、带宽 $\geq 100\text{Mbps}$ ，确保业务传输质量。

混合专网部署：采用“控制面共享+用户面下沉”架构，AMF、SMF等控制面网元与公网共用，UPF网元下沉至矿山本地机房，直接对接MEC平台与矿山数据中心，实现采掘控制、设备监测等核心业务数据的本地处理，确保数据不出园区，提升传输时延性能与数据安全性。

独立专网部署：采用全私有化部署模式，核心网控制面与用户面网元(含AMF、SMF、UPF)均部署在矿山本地，通过物理防火墙与公网实现隔离，支持与矿山现有工业控制网、视频监控网的融合对接，保障网络独立性与数据安全性。

(5) 网络资源动态调整要求

核心网应支持网络切片动态调整功能，当矿山新增无人巡检、智能分拣等新型业务时，可通过核心网管理平台快速配置新的切片资源，合理分配网络带宽、时延等参数，保障新增业务快速上线、稳定运行。

7.3 时延抖动设计

7.3.1 无线网时延优化方案

无线网从帧结构、传输机制两方面优化时延抖动。采用5G SA独立组网模式，支持URLLC(超高可靠超低时延通信)业务类型，通过缩短TTI(传输时间间隔)至 0.5ms ，减少数据传输等待时间。井下场景启用“预调度”机制，基于采掘设备的工作周期提前分配无线资源，避免资源竞争导致的时延波动。针对远程操控类业务，采用HARQ(混合自动重传请求)快速重传技术，当数据传输出错时，重传响应时间控制在 10ms 以内。时延监测方面，在无线网管理平台实时采集基站与终端的时延数据，当抖动值超过 5ms 时，自动触发波束调整或资源重分配，确保控制类业务时延稳定在 $\leq 20\text{ms}$ ，视频类业务时延 $\leq 50\text{ms}$ 。

(1) 空口时延增强技术配置：针对URLLC场景，无线网应引入mini-slot、免调度、增强的设备能力、URLLC业务抢占等增强技术，并结合业务需求，联动配置帧结构、SR周期等算法参数及功能开关，形成分级空口时延能力。

(2) Mini-slot技术要求：应将调度最小颗粒度从slot级（14个符号）缩短至符号级（2、4、7等），有效缩短调度与反馈时延，提升空口调度效率。

(3) 免调度技术要求：当用户上行数据包到达时，应采用免调度传输模式，无需经过SR-ULgrant流程，直接在基站预先分配的资源上进行传输，可通过RRC信令或RRC+DCI参与配置，实现类似SPS的传输效果，降低上行传输时延。

(4) 增强设备能力要求：终端应支持NR定义的增强终端能力（capability2），该类终端需满足更短的PDSCH处理时延与PUSCH准备时延（以30k子载波为例，PDSCH解码时延从10符号降至4.5符号，PUSCH编码时延从12符号降至5.5符号），进一步缩短用户面空口时延。

(5) URLLC业务抢占要求：URLLC业务来包后，应按对应时延要求以mini-slot为调度单位立即调度；若其所需频域资源与已传输的eMBB业务资源冲突，为保障URLLC业务高可靠性，应优先占用冲突资源，并通过位图方式向eMBB终端指示占用资源，确保eMBB终端正常完成译码及HARQ流程处理。

7.3.2 承载网时延优化方案

承载网通过“缩短传输路径+硬管道保障”降低时延抖动。采用“基站-本地汇聚点-核心网”的短路径架构，减少中间转发节点。承载网按需配置FlexE硬管道技术，为不同优先级业务分配专属的传输通道，避免业务间的干扰，其中采掘设备远程控制业务分配最高优先级，保障时延抖动业务需求。在承载网节点部署时钟同步系统，采用IEEE 1588v2精确时间同步协议，实现全网设备的微秒级时钟同步，减少因时钟偏差导致的时延抖动。

(1) 传输时延降低方案：传输网应采用UPF下沉与基站分流相结合的时延优化方案，实现数据本地疏导与处理，有效降低传输时延。

(2) 传输链路保障要求：传输网应优化链路设计，环路带宽不低于10GE，采用环网保护功能，确保单条链路故障时50ms内自动切换至备用链路，避免链路故障导致时延增加；同时优化光缆路由，减少信号衰减与传输损耗，进一步降低传输时延。

7.3.3 核心网时延优化方案

核心网通过“网元下沉+协议简化”优化时延性能：

(1) UPF部署优化要求：核心网用户面（UPF）设备应下沉部署至矿区本地数据机房，直接对接矿山数据中心相关应用平台，实现采掘控制、设备监测等核心业务数据本地处理，确保数据不出园区，最大限度降低核心网传输时延，满足本地流量卸载与低时延需求。

(2) UPF能力要求：UPF设备的业务吞吐能力、用户接入能力应与矿区URLLC业务规模、时延需求相匹配，支持设备级容灾功能，避免设备故障导致时延增加或业务中断，保障低时延业务连续稳定运行。

网络切片优化要求：核心网应支持网络切片动态调整功能，针对URLLC低时延业务，通过核心网管理平台快速配置专用切片资源，合理分配带宽、时延等参数，为低时延业务提供独立传输通道，避免业务干扰导致的时延波动。

(3) 协议与功能优化要求：核心网应支持与无线网、传输网的时延优化技术协同，配合空口增强技术、传输分流方案，实现全链路时延管控；同时优化NAT功能、网络能力开放机制，在保障网络安全与业务协同的前提下，减少功能冗余带来的时延损耗。

7.4 带宽保障设计

5G智慧矿山专网带宽保障应针对智慧矿山应用上行峰值速率、上行容量、上行边缘速率的高需求，采用“技术增强+频谱适配+干扰隔离”的核心思路，部署时隙反转、载波聚合、超级上行等增强技术，在确保与公网互不干扰的前提下，满足智慧矿山大上行业务传输需求，保障各类业务带宽稳定、性能达标。

(1) 时隙反转技术应用要求

帧结构配置：5G智慧矿山专网应采用灵活帧结构设计，结合智慧矿山大上行业务特性，按需配置上行时隙配比占比更高的帧结构，增加上行资源供给，显著提升网络上行速率与上行容量。

软硬件配置：实际部署过程中，应选用特定5G频段，同时对无线网侧进行配套软硬件配置，包括采用符合要求的无线射频单元，并完成对应的license授权配置，确保时隙反转技术正常启用、性能达标。

（2）载波聚合技术应用要求

技术部署：应采用载波聚合增强技术，通过将多个载波聚合后同步传输，大幅提升网络上下行传输性能，适配智慧矿山大带宽业务需求。

聚合要求：支持频带内聚合与频带间聚合两种模式，同时兼容非同步载波间聚合及终端1T至2T间的天线轮发功能。

（3）超级上行技术应用要求

超级上行中的SUL技术，除提升上行带宽外，应通过低频SUL载波实现NR TDD载波上下行解耦；当终端处于基站远点时，应将上行传输切换至低频SUL载波，下行仍工作在TDD载波，解决终端发射功率不足导致的上行覆盖受限问题，提升上行覆盖能力与上行边缘速率。

（4）干扰隔离与带宽适配要求

干扰控制：所有带宽增强技术部署过程中，应采取有效的频谱隔离措施，确保矿山专网与公网互不干扰，保障双方网络性能稳定。

动态适配：应根据智慧矿山业务量变化，动态调整三种增强技术的配置参数，优化上行资源分配，确保上行峰值速率、上行容量、上行边缘速率持续满足业务需求，实现带宽资源的高效利用。

8 5G 专网场景化应用

8.1 智能综采面

8.1.1 场景描述

智能综采面是矿山核心生产场景，传统综采作业依赖人工现场操作，存在作业环境恶劣（高粉尘、高噪音、易发生顶板等安全事故）、生产效率偏低（人工干预频繁导致设备停机时间较长）、数据交互滞后（井下设备运行状态与地面调度信息不同步）等突出问题。该场景需实现采煤机、液压支架等核心设备远程控制、设备运行状态实时监测及井下高清视频回传，对网络低时延、高可靠性要求极高。

8.1.2 解决方案

采用“5G+远程控制+AI监测”一体化技术方案，具体要求如下：

1. 设备感知部署：在采煤机、液压支架等核心设备上，部署矿用本安型5G终端及多类型传感器（含振动、温度、压力传感器），通过5G专网将设备运行数据、操作状态实时传输至地面调度中心，实现设备状态全面感知。

2. 视频监控部署：在智能综采面区域部署4K高清摄像头，实现作业场景全景覆盖与实时监控，保障地面调度人员清晰掌握井下作业态势。

3. 远程管控与智能分析：地面调度中心通过远程操控平台，结合AI算法对设备上传数据进行实时分析，自动生成最优采煤参数，实现采煤机运行、液压支架动作的远程精准控制。

4. 异常告警与运维保障：当设备运行出现异常时，系统应自动触发告警信号，并推送至相关调度终端，支持运维人员开展远程会诊，快速排查处置设备故障。

8.1.3 网络方案

针对智能综采面高时延、高可靠的网络需求，采用以下网络解决方案：

1. 网络架构：采用独立专网架构，在综采面区域部署矿用本安型基站，确保井下综采面全域5G信号全覆盖，无盲区、无死角。
2. 时延控制：核心网UPF网元下沉至矿山本地机房，实现综采面设备数据本地卸载与处理，端到端传输时延控制在 $\leq 30\text{ms}$ 。
3. 带宽与抖动保障：通过网络切片技术为远程控制业务分配独立硬管道，保障业务带宽 $\geq 5\text{Mbps}$ ，传输抖动 $\leq 20\text{ms}$ ，避免业务干扰。
4. 冗余保护：采用双链路冗余设计，当主传输链路发生故障时，应在 10ms 内自动切换至备用链路，保障远程控制指令连续传输，避免作业中断。
5. 时钟同步：启用TSN时间敏感网络技术，实现综采面各类设备间微秒级时钟同步，确保液压支架与采煤机动作协同一致，提升作业精度。

8.1.4 产品方案

智能综采面核心产品配置及技术要求如下，所有产品均需通过国家矿山安全标志认证，并支持与矿山现有综采设备协议兼容：

1. 矿用本安型5G采煤机控制器：防爆等级不低于Ex ib I Mb，满足井下防爆安全要求，实现采煤机远程控制指令的精准传输与执行。
2. 液压支架5G传感器：可实时采集液压支架压力、位移等关键参数，保障设备状态监测精准性。
3. 矿用4K高清摄像头：支持宽动态功能，可适应井下低光、高粉尘等恶劣环境，实现综采面作业场景高清实时回传。
4. 地面远程操控平台：支持多台综采设备协同控制，具备参数设置、状态监控、故障告警等功能，操作界面简洁、易用，适配矿山调度场景。
5. 5G MEC边缘服务器：本地数据处理延迟 $\leq 20\text{ms}$ ，可实现综采面设备数据本地分析、存储与转发，降低核心网传输压力，提升数据处理效率。

8.2 智能掘进面

8.2.1 场景描述

智能掘进面是矿山开拓巷道的关键场景，传统掘进作业存在掘进效率低（人工操作掘进机精度差，返工率高）、安全风险大（掘进头易发生瓦斯突出、透水等安全事故）、地质适应性弱（无法实时根据地质条件调整掘进参数）等突出问题。该场景需实现掘进机远程控制、掘进头地质探测数据实时传输、作业环境监测（瓦斯、粉尘浓度）等功能，对网络的广连接能力和数据传输稳定性要求较高。

8.2.2 解决方案

构建“5G+地质探测+自动掘进”一体化系统，具体要求如下：

1. 地质探测与设备控制部署：在掘进机上安装5G智能控制终端、激光导向仪及地质雷达，通过地质雷达实时探测掘进头前方地质结构（如断层、含水层等），探测数据经5G专网实时传输至地面地质分析平台。
2. 远程控制与路径优化：地面地质分析平台结合AI地质分析算法，对地质探测数据进行实时处理，生成掘进路径优化建议，通过5G专网远程控制掘进机调整掘进方向和速度，提升掘进精度与效率。
3. 环境监测与应急保障：在掘进头区域部署瓦斯传感器、粉尘传感器及应急通信终端，实现作业环境参数实时监测，当出现异常情况时可快速响应，保障作业安全。

8.2.3 网络方案（对网络有特殊需求的场景，增加网络解决方案描述，否则忽略）

采针对智能掘进面广连接、高稳定性的网络需求，采用以下网络解决方案：

1. 网络架构：采用混合专网架构，在掘进面区域部署防爆型5G基站，基站与地面核心网通过光纤承载网实现连接，保障链路传输稳定性。
2. 时延控制：核心网UPF网元下沉至矿区边缘节点，实现地质探测数据与掘进控制指令的本地传输，端到端传输时延控制在 $\leq 30\text{ms}$ 。
3. 切片与带宽保障：为掘进控制业务分配专属网络切片，保障业务带宽 $\geq 15\text{Mbps}$ ；同时为传感器数据传输分配广连接网络切片，支持 ≥ 100 个传感器并发接入，满足多设备数据同步传输需求。
4. 无缝切换保障：网络应支持掘进机移动过程中的无缝切换，切换时延 $\leq 50\text{ms}$ ，确保远程控制指令连续传输，避免掘进作业中断。

8.2.4 产品方案

智能掘进面核心产品配置及技术要求如下，产品需兼容掘进机主流品牌的控制协议：

1. 5G智能掘进机控制系统：支持远程/本地双模式切换，控制精度 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，可实现掘进机方向、速度的精准控制，适配井下复杂作业场景。
2. 矿用地质雷达5G终端：探测深度 $\geq 30\text{米}$ ，数据传输速率 $\geq 10\text{Mbps}$ ，可实时采集掘进头前方地质数据并高效传输，为路径优化提供支撑。
3. 本安型瓦斯传感器：检测范围为0-100%CH₄，数据上传间隔 $\leq 1\text{s}$ ，确保瓦斯浓度实时监测、异常及时上报。
4. 5G防爆基站：防爆等级不低于Ex d I Mb，覆盖半径 $\geq 200\text{米}$ ，满足掘进面区域5G信号全覆盖需求，适配井下防爆安全要求。
5. 地面地质分析平台：支持实时地质建模，可对地质探测数据进行快速分析，生成掘进路径优化建议，支撑掘进作业智能化管控。

8.3 井下安全生产监管场景

8.3.1 场景描述

井下安全生产监管场景覆盖巷道、硐室、作业面等井下全区域，传统监管模式依赖人工巡检与定点监测，存在监管盲区（如偏远巷道）、隐患发现滞后（人工巡检周期长，无法实现实时监测）、应急响应缓慢（事故发生后信息传递不及时，影响救援效率）等突出问题。该场景需实现井下人员定位、作业环境参数实时监测、违规操作智能识别等核心功能，对网络覆盖范围的全面性和数据传输的实时性要求较高。

8.3.2 解决方案

打造“5G+人员定位+智能监控”一体化安全生产监管体系，具体要求如下：

1. 人员定位部署：为井下所有作业人员配备5G矿用定位手环，实时采集人员位置、移动轨迹等信息，实现人员动态管控。
2. 智能监控与环境监测部署：在巷道关键位置、硐室及作业面周边，部署AI智能监控摄像头和多参数环境传感器（含温度、湿度、瓦斯、粉尘），通过AI智能识别算法，自动识别人员未佩戴安全帽、违规进入禁区等违规操作行为，同步实时采集井下环境参数。
3. 数据汇聚与平台管控：所有人员定位数据、环境监测数据、违规识别数据经5G专网统一汇聚至地面安全生产监管平台，平台需具备数据可视化展示、隐患自动告警、应急调度指挥等功能，支持与矿山应急救援系统联动，提升应急处置效率。

8.3.3 网络方案

针对井下安全生产监管场景对网络覆盖、广连接及实时性的需求，采用以下网络解决方案：

1. 网络架构：采用虚拟专网与独立专网相结合的混合架构，主巷道、核心作业面采用独立专网部署，保障人员定位、应急调度等核心数据传输的安全性与稳定性；偏远巷道采用虚拟专网补充覆盖，实现井下全域网络无盲区。

2. 切片配置：人员定位数据传输采用低功耗广连接网络切片，支持 ≥ 500 个定位终端并发接入，定位精度 ≤ 3 米，满足大规模人员同时定位需求；AI视频回传业务采用高带宽网络切片，保障业务带宽 ≥ 10 Mbps，端到端传输时延 ≤ 50 ms，确保视频画面实时回传。

3. 应急保障：在井下灾变场景下，网络应自动切换至应急通信切片，优先保障人员位置信息、求救信号及应急调度指令的传输，为应急救援提供通信支撑。

8.3.4 产品方案

井下安全生产监管场景核心产品配置及技术要求如下，所有产品均需符合《煤矿安全生产监控系统通用技术要求》：

1. 5G矿用定位手环：支持北斗+5G双模定位，续航时间 ≥ 72 小时，具备位置实时上报、低电量告警功能，适配井下恶劣环境，满足人员定位需求。

2. AI智能监控摄像头：内置违规行为识别算法，防爆等级不低于Ex ib I Mb，可适应井下低光、高粉尘环境，实现违规操作自动识别与实时抓拍。

3. 多参数环境传感器：支持4-20mA模拟量输出，采用5G无线传输模式，可实时采集温度、湿度、瓦斯、粉尘等环境参数，数据传输稳定、精准。

4. 安全生产监管平台：具备人员轨迹追溯、隐患统计分析、数据可视化、自动告警、应急调度等功能，支持与矿山现有系统兼容，实现监管一体化。

5. 应急通信终端：支持一键求救功能，语音通信清晰，具备抗干扰能力，可在灾变场景下快速传递求救信号，保障应急通信畅通。

8.4 井下无人电机车场景

8.4.1 场景描述

井下无人电机车是矿山设备运输的核心载体，传统电机车依赖人工驾驶模式，存在运输效率偏低、安全风险较高、调度管理复杂等突出问题。该场景需实现电机车无人驾驶、运输自动调度、路况实时监测等核心功能，对网络的低时延、高可靠性要求严苛，需保障控制指令传输稳定、无中断。

8.4.2 解决方案

实施“5G+无人驾驶+智能调度”一体化技术方案，具体要求如下：

1. 车载设备部署：在井下无人电机车上安装5G车载终端、激光雷达、高清摄像头及毫米波雷达，实时采集路况信息、车辆运行状态（速度、方位、载重等）数据，为无人驾驶决策提供支撑。

2. 智能调度管控：地面调度中心通过智能调度系统，基于5G专网实时传输的车载数据、路况数据，为每台电机车规划最优运输路径，实现多台电机车协同避障、自动装卸作业，提升运输效率。

3. 精准定位辅助：在井下巷道交叉点、弯道等关键位置部署5G信标设备，辅助电机车实现精准定位，弥补单一定位方式的不足，提升电机车行驶安全性与路径精准度。

8.4.3 网络方案

针对井下无人电机车场景对网络低时延、高可靠的严苛需求，采用以下网络解决方案：

1. 网络架构：采用独立专网架构，在井下运输巷道沿运输线路部署符合安标认证的5G基站，确保电机车行驶全程5G信号连续覆盖、无盲区，保障数据传输稳定性。

2. 时延与处理优化：核心网UPF网元下沉至矿区本地，实现电机车无人驾驶控制指令的本地处理与转发，端到端传输时延控制在 $\leq 30\text{ms}$ ，满足实时控制需求。

3. 切片与带宽保障：通过网络切片技术为无人驾驶业务分配最高优先级，保障业务带宽 $\geq 25\text{Mbps}$ ，传输抖动 $\leq 20\text{ms}$ ，避免其他业务干扰，确保控制指令精准、实时传输。

4. 车联网通信：部署车联网专用协议（如C-V2X），实现电机车与5G基站、电机车与电机车之间的实时通信，支持碰撞预警、交叉路口协同、紧急制动联动等功能，提升行驶安全等级。

8.4.4 产品方案

井下无人电机车场景核心产品配置及技术要求如下，所有产品均需通过国家矿山机电产品安全认证，适配井下防爆、潮湿、高粉尘等恶劣环境：

1. 5G无人驾驶电机车：支持自动启停、自动避障、自动调速功能，具备故障自动告警、手动模式切换功能，满足井下煤炭及设备运输需求。

2. 矿用激光雷达：探测距离 $\geq 100\text{m}$ ，定位精度 $\leq \pm 2\text{cm}$ ，可精准识别巷道内障碍物、行人及其他设备，为无人驾驶避障提供精准数据支撑。

3. 5G车载控制器：防爆等级不低于Ex d I Mb，支持多传感器数据融合处理，可快速解析车载设备采集的数据，实现无人驾驶指令的精准执行，具备抗干扰、高稳定特性。

4. 智能调度平台：支持10台及以上电机车协同调度，具备路径规划、实时监控、调度优化、故障告警等功能，可实现运输任务的智能化分配与管理。

5. 5G信标设备：定位精度 $\leq 1\text{m}$ ，部署于巷道关键位置，为电机车提供辅助定位服务，提升无人驾驶定位精准度与行驶安全性。

8.5 智能煤流运输场景

8.5.1 场景描述

智能煤流运输场景覆盖从工作面到储煤仓的全运输链条，依赖皮带运输机、转载点、给煤机等各类设备协同运行。传统煤流运输模式存在堵煤监测滞后、设备故障难以定位、能耗浪费严重等突出问题。该场景需实现煤流状态实时监控、设备故障精准预警、运输链路智能启停等核心功能，对网络的广连接能力及数据传输稳定性要求较高。

8.5.2 解决方案

实施“5G+物联网+AI视觉”一体化煤流智能管控方案，具体要求如下：

1. 煤流状态监测部署：在皮带运输机机头、机尾及转载点等关键位置，部署5G高清摄像头与超声波传感器，通过AI视觉识别算法自动识别堵煤、皮带跑偏等异常情况，超声波传感器实时检测煤流厚度，实现煤流状态精准监测。

2. 设备故障预判部署：在皮带运输机中部安装振动传感器与温度传感器，实时监测滚筒轴承温度及皮带振动频率，通过数据分析预判设备潜在故障，实现故障早发现、早处置。

3. 智能联动控制：在给煤机上部署5G智能控制器，实现给煤机与采煤机的联动启停，提升运输协同效率；所有监测数据、设备运行数据经5G专网统一传输至地面煤流管控平台。

4. 平台管控与能耗优化：地面煤流管控平台需实现煤流状态可视化展示、故障自动告警及设备联动控制功能；当检测到堵煤异常时，应自动触发上游给煤机停机，同时推送告警信息至运维人员终端，通知及时处理；基于煤流厚度实时数据，动态调整皮带运输机运行速度，降低设备空转能耗。

8.5.3 网络方案（对网络有特殊需求的场景，增加网络解决方案描述，否则忽略）

针对智能煤流运输场景对网络广连接、高稳定性的需求，采用以下网络解决方案：

1. 网络架构：采用混合专网架构，井下皮带巷部署矿用本安型5G基站，地面皮带廊部署符合安全规定的基站，确保煤流运输全链条5G信号全覆盖、无盲区，保障数据传输连续性。

2. 时延控制：核心网UPF网元下沉至矿区边缘节点，实现传感器监测数据与设备控制指令的本地传输，端到端传输时延控制在 $\leq 30\text{ms}$ ，满足实时监测与控制需求。

3. 切片配置：为煤流监测业务分配两类专用网络切片，一是高带宽切片，保障带宽 $\geq 10\text{Mbps}$ ，用于AI视频回传业务，确保视频画面清晰、实时；二是广连接切片，支持 ≥ 200 个传感器并发接入，单传感器数据上传带宽 $\geq 500\text{Kbps}$ ，满足多设备同步数据传输需求。

4. 无缝切换保障：网络应支持皮带运输机移动检修时终端的无缝切换，切换时延 $\leq 50\text{ms}$ ，确保检修过程中各类数据实时上传，保障检修工作高效开展。

8.5.4 产品方案

智能煤流运输场景核心产品配置及技术要求如下，所有产品均需兼容矿山现有皮带运输机控制系统，适配井下及地面恶劣作业环境：

1. 5G智能皮带控制器：支持皮带运行速度调节、启停远程控制功能，防爆等级不低于Ex ib I Mb，具备抗干扰、高稳定特性，确保皮带运输机精准管控。

2. 矿用AI摄像头：内置堵煤、皮带跑偏等异常识别算法，具备夜间红外补光功能，补光距离 ≥ 30 米，可适应井下低光、高粉尘及地面复杂光照环境，实现异常情况精准识别。

3. 超声波煤流传感器：检测范围为0-50cm，数据检测精度 $\leq \pm 1\text{cm}$ ，可实时采集煤流厚度数据，为皮带速度调整及堵煤预警提供精准数据支撑。

4. 皮带振动温度传感器：温度检测范围为 -40°C - 120°C ，振动频率检测范围为0-1000Hz，可实时监测皮带及滚筒运行状态，预判设备故障。

5. 煤流智能管控平台：支持多皮带运输链路协同控制，具备能耗统计功能，能耗统计精度 $\leq 2\%$ ，同时实现数据可视化、故障告警、联动控制等功能，提升煤流运输智能化管控水平。

8.6 智能排水场景

8.6.1 场景描述

井下排水系统是矿山安全生产的“生命线”，核心功能为排出井下涌水，保障矿山作业安全。传统排水系统依赖人工巡检与手动启停泵组，存在涌水响应滞后、泵组故障排查效率低、能耗浪费严重等突出问题。该场景需实现水位自动监测、泵组智能启停、故障远程诊断等核心功能，对网络的可靠性及低功耗要求较高。

8.6.2 解决方案

打造“5G+水位监测+泵组联动”一体化智能排水系统，具体要求如下：

1. 水位与水压监测部署：在井下各个水仓部署5G本安型液位传感器与压力传感器，实时采集水位高度、水压等核心数据，确保涌水状态可实时感知。

2. 泵组状态监测与控制部署：在排水泵组电机上安装振动温度一体化传感器及5G智能控制器，实时监测泵组运行状态（振动、温度等），实现泵组远程管控。

3. 智能联动与涌水预判：地面调度中心搭建智能排水管控平台，基于5G专网实时传输的监测数据，结合天气预报及历史涌水数据，通过AI算法精准预测涌水趋势，自动生成泵组启停方案：当水位低于1.5米时启动1台泵组，水位高于3米时增开至2台泵组，水位低于0.5米时自动停机，实现按需供水、节能运行。

4. 故障远程处置：当系统检测到泵组振动异常、温度超标等故障时，管控平台应自动推送故障告警信息，并提供远程诊断建议，支持运维人员通过平台进行远程调试，减少人工下井作业，提升故障处置效率。

8.6.3 网络方案

针对智能排水场景对网络可靠性、低功耗的核心需求，采用以下网络解决方案：

1. 网络架构：采用虚拟专网与独立专网相结合的混合架构，水仓及泵房主区域采用独立专网部署，保障排水控制指令等核心数据传输的安全性与可靠性；偏远辅助水仓采用虚拟专网补充覆盖，实现井下排水区域网络无盲区。

2. 切片配置：水位传感器数据传输采用低功耗广连接网络切片，支持 ≥ 100 个传感器并发接入，数据上传间隔可根据工况灵活设置，正常工况下5分钟/次，高水位预警工况下10秒/次，兼顾低功耗与实时性；泵组控制指令传输采用高优先级网络切片，保障业务带宽 $\geq 5\text{Mbps}$ ，端到端传输时延 $\leq 20\text{ms}$ ，确保控制指令实时、准确传输。

3. 基站部署与保障：在水仓等潮湿环境部署防水型5G基站，采用PoE供电方式，避免电缆老化带来的安全风险；基站需支持故障自动上报功能，便于运维人员及时排查处置基站故障，保障网络连续运行。

8.6.4 产品方案

智能排水场景核心产品配置及技术要求如下，所有产品均需符合《煤矿井下排水系统技术规范》（MT/T 1097-2008），适配井下高湿、多粉尘等恶劣作业环境。

8.6.4 产品方案

智能排水场景核心产品配置及技术要求如下，所有产品均需符合《煤矿井下排水系统技术规范》（MT/T 1097-2008），适配井下高湿、多粉尘等恶劣作业环境：

1. 5G本安型液位传感器：测量范围为0-10米，数据检测精度 $\leq \pm 2\text{mm}$ ，续航时间 ≥ 1 年，具备低功耗、高稳定特性，可实时采集水仓水位数据并上传。

2. 泵组智能控制器：支持泵组远程启停、运行参数调节功能，防爆等级不低于Ex d I Mb，具备抗干扰能力，可精准执行管控平台下发的控制指令，适配井下防爆安全要求。

3. 振动温度一体化传感器：采样频率 $\geq 100\text{Hz}$ ，数据上传速率 $\geq 1\text{Mbps}$ ，可实时采集泵组振动、温度数据，为泵组故障预判提供精准数据支撑。

4. 智能排水管控平台：支持多水仓联动控制，具备泵组能耗统计、故障分析、涌水趋势预测等功能，实现排水系统智能化管控，提升排水效率与安全性。

8.7 智能供电场景

8.7.1 场景描述

矿山供电系统涵盖地面变电站、中央变电所、采区变电所及移动变电站，是全矿各类设备的动力电源核心，直接关系矿山安全生产连续性。传统供电系统存在负荷分配不均、漏电故障定位困难、运维成本偏高（等突出问题。该场景需实现供电参数实时监测、负荷智能调度、故障精准定位等核心功能，对网络的实时性及传输安全性要求极高。

8.7.2 解决方案

构建“5G+智能电表+负荷调度”一体化供电管控体系，具体要求如下：

1. 供电参数监测部署：在地面变电站、中央变电所、采区变电所内，部署5G智能电力监测终端，实时采集电压、电流、功率因数、频率等核心供电参数，确保供电状态可实时掌控。

2. 负载能耗计量部署：在采掘设备、皮带运输机等大功率负载端，安装5G智能电表，实现负载能耗的精准计量、数据实时上传，为负荷调度提供数据支撑。

3. 漏电故障监测部署：在井下电缆接头等关键位置，部署5G漏电监测传感器，实时监测电缆绝缘电阻变化，及时捕捉漏电隐患，防范安全事故。

4. 智能调度与故障处置：所有监测数据、计量数据经5G专网统一传输至地面供电管控平台，平台采用遗传算法优化负荷分配策略；当某区域电压低于 $10\text{kV} \pm 5\%$ 标准范围时，自动调整无功补偿装置或转移部分非核心负载，保障电压稳定；当检测到漏电故障时，结合多传感器数据精准定位故障点（定位精度 $\leq 5\text{米}$ ），自动切断故障区域电源，同时推送检修工单至运维人员终端，实现故障快速处置。

8.7.3 网络方案

针对智能供电场景对网络实时性、安全性的极高需求，采用以下网络解决方案：

1. 网络架构：采用独立专网架构，在地面变电站、井下中央变电所、采区变电所等供电核心区域，部署防爆型5G基站，确保核心区域5G信号全覆盖、无死角，保障供电数据传输稳定。

2. 时延与处理优化：核心网UPF网元下沉至地面变电站机房，实现供电控制指令、监测数据的本地处理与转发，端到端传输时延控制在 $\leq 20\text{ms}$ ，满足实时管控需求。

3. 切片配置：为供电监测业务分配两类专用网络切片，一是高实时性切片，用于电压、电流等核心供电参数的实时传输；二是安全隔离切片，专门用于传输漏电故障信号与跳闸控制指令，与其他业务实现物理隔离，防范数据干扰与安全风险。

4. 时钟同步保障：网络部署电力专用时钟同步系统，实现全网所有监测终端、控制设备的时钟同步，确保供电参数采集、指令执行的时序一致性。

8.7.4 产品方案

智能供电场景核心产品配置及技术要求如下，所有产品均需符合《煤矿供电系统技术规范》（MT/T 767-2011）及《电力系统通信规范》（DL/T 544-2012），适配变电站强电磁、井下多粉尘等恶劣作业环境：

1. 5G智能电力监测终端：支持三相电参数采集，测量精度达到0.5级，防爆等级不低于Ex d I Mb，具备抗电磁干扰能力，可实时采集并上传供电核心参数。

2. 5G智能电表：支持峰谷电价计量功能，计量精度符合行业标准，可精准统计负载能耗，为负荷优化调度提供数据支撑。

3. 电缆漏电传感器：检测范围为 $0-500\text{M}\Omega$ ，响应时间 $\leq 100\text{ms}$ ，可实时监测电缆绝缘电阻变化，及时上报漏电隐患，保障供电安全。

4. 供电智能管控平台：支持负荷优化调度、故障模拟分析、数据可视化展示、检修工单管理等功能，可实现供电系统全流程智能化管控，提升供电可靠性与运维效率。

5. 电力专用5G基站：具备强防电磁干扰能力，可适应变电站强电磁环境，防爆等级符合井下及地面供电区域安全要求，保障网络信号稳定传输。

8.8 智能通风场景

8.8.1 场景描述

井下通风系统是矿山人员安全保障的核心系统，核心功能为向井下输送新鲜空气、排出瓦斯及粉尘，维持井下作业环境符合安全标准。传统通风系统采用“固定风速运行”模式，存在风量与实际需求不匹配、风机故障响应迟缓、瓦斯积聚预警滞后等突出问题。该场景需实现风量智能调节、风机状态实时监测、瓦斯浓度联动控制等核心功能，对网络的广连接能力及数据传输稳定性要求较高。

8.8.2 解决方案

实施“5G+瓦斯监测+风机联动”一体化智能通风方案，具体要求如下：

1. 环境参数监测部署：在井下采掘面、巷道交叉口、瓦斯易积聚区域，部署5G本安型瓦斯传感器与风速传感器，实时采集瓦斯浓度与风量数据，确保井下通风环境可实时掌控。
2. 风机状态监测与控制部署：在主通风机、局部通风机上安装5G智能控制器与振动传感器，实时监测风机转速、轴承温度、运行电流等核心参数，实现风机远程管控。
3. 智能风量调节：地面调度中心搭建通风智能管控平台，基于5G专网实时传输的监测数据，结合井下人员数量、作业分布情况，通过流体力学算法动态调节风机转速，实现风量按需供给。
4. 故障应急处置：当系统检测到风机运行异常、停机等故障时，管控平台应自动切换至备用风机，切换时间 $\leq 10s$ ，确保井下通风不中断，同时推送故障告警信息至运维人员终端，通知及时排查处置。

8.8.3 网络方案

针对智能通风场景对网络广连接、高稳定性的核心需求，采用以下网络解决方案：

1. 网络架构：采用混合专网架构，主通风机房、井下采掘面等核心区域采用独立专网部署，保障风机控制指令、瓦斯监测数据等核心数据传输的安全性与稳定性；偏远巷道采用虚拟专网补充覆盖，实现井下通风监测区域网络无盲区。
2. 切片配置：瓦斯传感器与风速传感器数据传输采用低功耗广连接网络切片，支持 ≥ 300 个传感器并发接入，数据上传间隔 $\leq 2s$ ，兼顾低功耗与实时监测需求；风机控制指令传输采用高优先级网络切片，保障业务带宽 $\geq 10Mbps$ ，端到端传输时延 $\leq 30ms$ ，确保控制指令实时、准确执行。
3. 基站部署与防护：在风机房等振动较大的区域，5G基站采用防震支架安装，光缆采用铠装保护，有效避免设备震动导致的通信中断，保障网络传输连续性。

8.8.4 产品方案

智能通风场景核心产品配置及技术要求如下，所有产品均需符合《煤矿井下通风安全监测系统技术规范》（AQ 6201-2006），适配井下高粉尘、高湿、有瓦斯等恶劣作业环境：

1. 5G本安型瓦斯传感器：检测范围为0-100%CH₄，响应时间 $\leq 2s$ ，续航时间 ≥ 6 个月，具备低功耗、高稳定特性，可实时采集瓦斯浓度数据并上传至管控平台。
2. 风速传感器：测量范围为0.3-20m/s，检测精度 $\leq \pm 0.1m/s$ ，可实时采集井下风量数据，为风量智能调节提供精准数据支撑。
3. 风机智能控制器：支持风机远程调速、启停控制功能，防爆等级不低于Ex d I Mb，具备抗干扰能力，可精准执行管控平台下发的控制指令，适配井下防爆安全要求。
4. 通风智能管控平台：支持风量模拟计算、风机能耗统计、瓦斯浓度预警、风机状态监控等功能，实现通风系统全流程智能化管控，提升通风安全性与节能效果。

8.9 智能压风场景

8.9.1 场景描述

矿山压风系统的核心功能是为井下风动工具提供合格的压缩空气，是井下采掘作业的重要保障系统。传统压风系统采用“全天候满负荷运行”模式，存在能耗浪费严重、压力调节滞后、设备故障难以预判等突出问题。该场景需实现压风压力实时监测、空压机智能启停、能耗精准统计等核心功能，对网络的低时延及设备兼容性要求较高。

8.9.2 解决方案

打造“5G+压力监测+空压机联动”一体化智能压风系统，具体要求如下：

1. 压力监测部署：在井下压风管路沿线、采掘面风动工具接口处及管路关键节点，部署5G压力传感器，实时采集管路内压缩空气压力数据，确保压力状态可实时监测。

2. 空压机监测与控制部署：在地面空压机房的每台空压机上，安装5G智能控制器与能耗监测终端，实时监测空压机排气压力、油温、耗电量、运行时长等核心参数，实现空压机远程管控与能耗精准计量。

3. 智能联动控制：地面调度中心搭建压风智能管控平台，基于5G专网实时传输的压力数据、空压机运行数据，结合井下用风需求动态调节空压机运行台数。

4. 能耗优化与故障诊断：管控平台实时统计单台空压机能耗数据，生成能耗分析报告及节能优化建议；同时支持空压机故障远程诊断，当检测到运行异常时，推送故障告警及排查建议，提升运维效率。

8.9.3 网络方案

针对智能压风场景对网络低时延、设备兼容性的需求，采用以下网络解决方案：

1. 网络架构：采用虚拟专网架构，在地面空压机房、井下压风管路关键节点部署5G基站，确保压风监测与控制相关区域信号全覆盖，保障数据传输稳定。

2. 时延优化：核心网UPF网元下沉至矿区边缘节点，实现压风控制指令的本地传输与处理，端到端传输时延控制在 $\leq 30\text{ms}$ ，满足实时控制需求。

3. 切片配置：为压力监测数据传输分配广连接网络切片，支持 ≥ 150 个传感器并发接入，保障多节点压力数据同步上传；为空压机控制指令传输分配高优先级网络切片，保障业务带宽 $\geq 5\text{Mbps}$ ，确保控制指令精准传输。

4. 基站环境适配：在空压机房等高温环境，5G基站采用散热型外壳设计，具备良好的散热性能，确保基站在 40°C – 60°C 环境下稳定运行。

8.9.4 产品方案

智能压风场景核心产品配置及技术要求如下，所有产品均需符合《煤矿用压缩空气站设计规范》（GB 50029-2014），适配地面高温、井下多粉尘等作业环境：

1. 5G压力传感器：测量范围为 $0\text{--}1.6\text{MPa}$ ，检测精度 $\leq \pm 0.01\text{MPa}$ ，防护等级不低于IP67，可适应井下潮湿、多粉尘环境，实时采集管路压力数据。

2. 空压机智能控制器：支持空压机远程启停、压力调节功能，兼容阿特拉斯、英格索兰等主流品牌空压机，具备良好的设备兼容性，可精准执行管控平台指令。

3. 能耗监测终端：测量精度达到0.2级，数据上传间隔 $\leq 1\text{min}$ ，可精准统计空压机耗电量，为能耗分析与节能优化提供数据支撑。

4. 压风智能管控平台：支持多台空压机协同控制、压力实时监控、能耗统计分析、故障告警等功能，实现压风系统智能化管控，提升运行效率与节能效果。

8.10 智能地质保障场景

8.10.1 场景描述

智能地质保障是矿山安全生产的重要前提，核心任务是探测井下地质构造及矿体分布情况，为采掘作业提供精准地质数据支撑。传统地质保障模式依赖人工钻探与实验室分析，存在探测周期长、探测精度低数据更新滞后等突出问题。该场景需实现地质数据实时采集、三维地质模型动态更新、地质风险提前预警等核心功能，对网络的高带宽及数据存储能力要求较高。

8.10.2 解决方案

构建“5G+地质探测+AI建模”一体化智能地质保障系统，具体要求如下：

1. 地质数据实时采集：在掘进机上安装5G矿用地质雷达（探测深度 $\geq 30\text{米}$ ）与随钻测量仪，实时采集掘进头前方地质构造、矿体分布等数据；在井下钻孔处部署5G岩芯取样分析仪，快速检测岩石成分与强度，实现地质数据实时采集。

2. 数据传输与建模：所有采集的地质数据经5G专网高速传输至地面地质分析平台，平台采用AI地质建模算法，动态更新三维地质模型，模型精度 ≤ 0.1 米，确保地质数据与模型同步更新。

3. 地质风险预警：当系统探测到断层、含水层、瓦斯富集区等地质风险区域时，平台自动标注风险等级，同步推送预警信息至采掘面调度终端及作业人员，指导掘进机及时调整掘进路径，防范地质风险。

4. 采掘协同优化：平台将实时地质数据与矿山采掘计划联动，优化采煤机截割路径，提高煤炭资源回收率，降低采掘作业风险。

8.10.3 网络方案

针对智能地质保障场景对网络高带宽、高存储能力的核心需求，采用以下网络解决方案：

1. 网络架构：采用独立专网架构，在掘进工作面、井下钻孔区域等地质探测核心区域，部署矿用本安型5G微基站，确保地质探测数据实时、稳定传输。

2. 数据处理与存储：核心网UPF网元下沉至矿山数据中心，地质雷达数据、三维地质模型数据实现本地存储与处理，避免数据传输至公网，保障数据安全性与处理效率。

3. 切片配置：为地质数据传输分配高带宽网络切片，保障业务带宽 ≥ 50 Mbps，支持地质雷达点云数据（单帧100MB）实时上传；为地质风险预警指令分配最高优先级网络切片，端到端传输时延 ≤ 20 ms，确保风险信息快速推送至作业现场。

8.10.4 产品方案

智能地质保障场景核心产品配置及技术要求如下，所有产品均需符合《固体矿产地质勘查规范总则》（GB/T 13908-2022），适配井下防爆、高粉尘、移动掘进等作业环境：

1. 5G矿用地质雷达：探测深度 ≥ 30 米，分辨率 ≤ 0.1 米，防爆等级不低于Ex ib I Mb，可实时探测掘进头前方地质构造，为地质建模提供精准数据。

2. 随钻测量仪：测量参数包括方位角、倾角等，测量精度 $\leq \pm 0.1^\circ$ ，可实时采集钻井过程中的地质方位数据，辅助地质构造判断。

3. 岩芯取样分析仪：支持10种以上岩石成分检测，单样品检测时间 ≤ 5 min，可快速完成岩石成分与强度检测，提升地质数据采集效率。

4. 三维地质建模平台：支持多源地质数据融合，模型更新响应时间 ≤ 5 s，可动态生成、更新三维地质模型，实现地质数据可视化展示与风险预警。

8.11 露天矿山设备远程控制场景

8.11.1 场景描述

露天矿山开采涉及挖掘机、钻机、装载机、矿用卡车、破碎机等大型移动与固定设备，传统作业依赖驾驶员现场操作，存在作业环境恶劣、高温粉尘噪音大、人工成本高、安全风险高、连续作业能力弱、调度效率低等问题。在陡坡作业、爆破区域、高边坡区域，人员现场值守极易引发安全事故。

本场景需实现大型矿用设备远程操控、无人驾驶协同、多机联动调度、状态实时监控等功能，对网络低时延、高可靠、广覆盖、抗干扰、无缝切换能力要求极高，同时需满足露天矿区复杂地形、强日照、雨雾沙尘等恶劣环境下长期稳定运行。

8.11.2 解决方案

构建5G+边缘计算+远程操控+无人驾驶一体化露天矿山智能控制系统。

在露天矿挖掘机、钻机、矿卡等设备上部署高清摄像头、毫米波雷达、车载控制单元及状态传感器，实时采集设备姿态、位置、油温、压力等数据；通过5G专网将控制指令与视频流低时延回传至地面远程驾驶舱。

地面调度中心搭建远程控制平台与协同调度系统，实现远程起步、转向、制动、挖掘、装卸、行驶等操作，支持单驾驶员多机轮控、多设备编队协同、危险区域自动避让。

系统具备断网保护、紧急停车、故障锁机、超区预警等安全机制，确保远程控制过程安全可靠，实现减人增效、本质安全。

8.11.3 网络方案

采用5G独立专网（UPF/MEC下沉）架构，沿露天矿边坡、运输道路、作业面分区部署宏基站与补盲基站，实现矿区全域连续覆盖、无盲区。

网络采用高优先级低时延切片，保障远程控制指令与实时视频传输：端到端时延 $\leq 20\text{ms}$ 、丢包率 $\leq 0.1\%$ 、控制链路可靠性 $\geq 99.99\%$ ；支持车载终端高速移动无缝切换，切换时延 $\leq 50\text{ms}$ 。

传输线路采用光纤环网+无线备份，对光缆链路、光功率、线路衰减进行实时监测，确保链路故障快速定位。关键控制业务与视频业务逻辑隔离、通道保障，不受其他业务影响。

8.11.4 产品方案

本场景核心产品及技术要求如下：

5G车载智能控制单元：支持远程操控指令解析与执行，具备断网自保、紧急制动功能，适应露天矿振动、粉尘、高温环境。

矿用高清云台摄像头：支持星光级夜视、抗眩光、雨雾增强，视频码率可调，通过5G低时延回传。

毫米波/激光雷达：用于障碍物检测、车距监测、边坡危险预警，探测距离覆盖作业安全范围。

远程驾驶舱系统：包含多屏显示、操控手柄、语音对讲、告警提示，提供沉浸式驾驶体验。

露天矿5G专用基站：高增益天线、防风、防尘、防晒，支持大范围覆盖与高速移动性。

MEC边缘计算节点：实现视频转发、指令本地处理、数据本地缓存，降低时延、保障安全。

所有设备需满足露天矿山环境适应性要求，并符合矿山机械、矿用车辆相关安全标准。

8.12 露天矿山无人驾驶系统

8.12.1 场景描述

露天矿山矿用自卸车承担矿石、渣土运输核心任务，作业线路固定、作业环境恶劣、连续作业强度大。传统人工驾驶存在驾驶员劳动强度高、安全风险突出、疲劳作业易引发碰撞与翻车事故、运输效率难以标准化、运营成本居高不下等问题。

本场景需实现矿卡编队行驶、自主避障、自动装卸、自动卸车、智能调度、远程接管等全流程无人驾驶功能，对网络超低时延、超高可靠性、移动性、无缝切换、全域覆盖具有严苛要求。

8.12.2 解决方案

构建5G+北斗定位+MEC边缘计算+无人驾驶一体化露天矿运输系统。

在矿用自卸车上部署无人驾驶控制器、多传感器融合感知单元、线控执行机构、高精度定位终端，实现车辆自主行驶、自动跟车、主动避障、精准停车。

通过5G专网将车辆状态、视频、雷达点云数据实时回传至地面调度平台，调度中心统一规划路径、分配任务、监控车队运行，支持编队行驶、自动避让、异常预警、远程接管、紧急停车。

系统具备多重安全冗余、故障降级、断网自保、紧急制动机制，确保无人驾驶作业安全、稳定、连续运行。

8.12.3 网络方案

采用5G独立专网+UPF/MEC边缘下沉架构，沿采矿区、排土场、运输干线、装卸点分区部署5G基站，实现全域连续无缝覆盖。端到端时延 $\leq 20\text{ms}$ 、丢包率 $\leq 0.1\%$ 、车辆移动切换时延 $\leq 50\text{ms}$ 、可靠性 $\geq 99.99\%$ 。网络采用高优先级低时延专用切片，保障控制指令、车辆状态、高精度定位数据优先传输；视频流采用独立带宽切片，保证多路高清视频稳定回传。

传输采用光纤环网冗余架构，对光纤链路、光功率、线路状态实时监控，确保网络不中断、不卡顿、不失控。

8.12.4 产品方案

5G矿用无人驾驶控制器

支持线控驱动、制动、转向，具备故障诊断、紧急制动、断网保护功能，适应高温、振动、粉尘环境。

高精度定位与感知单元：包含北斗高精度定位、激光雷达、毫米波雷达、高清摄像头，实现车辆定位、障碍物识别、路况感知，定位精度优于 $\pm 10\text{cm}$ 。

5G车载终端：工业级车载5GCPE，支持多路视频回传、低时延控制通道、移动无缝切换，宽温宽压设计。

露天矿无人驾驶调度平台：实现车队管理、路径规划、任务调度、状态监控、远程接管、数据统计、安全预警一体化管控。

露天矿专用5G基站与配套设备：防风、防尘、防暴晒、高增益覆盖，适配矿山开阔地形与移动作业需求。

MEC边缘计算节点：实现本地数据处理、指令转发、视频分发、定位解算，降低时延，保障数据安全。

8.13 露天矿山卡车智能调度系统

8.13.1 场景描述

露天矿山矿用卡车是矿石、渣土运输核心载体，传统人工调度模式存在效率低、车辆空驶率高、任务分配不合理、状态监控滞后、运力与采掘/破碎产能不匹配等问题。露天矿区地形开阔、作业分散、车辆移动范围广，受天气、路况等因素影响，运输效率波动大、运营成本高，难以实现车队全域协同。本场景需实现卡车任务分配、路径规划、状态监控、运力优化等核心功能，对网络广覆盖、低时延、高可靠及多终端并发接入能力要求较高。

8.13.2 解决方案

构建“5G+边缘计算+智能调度+多设备协同”一体化系统，遵循“统筹优化、安全高效、降本增效”原则，实现卡车运输全流程智能化管控。在矿用卡车上部署5G车载终端、高精度定位模块及状态传感器，实时采集车辆位置、载重、油耗等数据；在采掘面、破碎站等关键节点部署监测设备，采集作业产能、路况等信息。地面调度平台基于5G专网实时数据，通过智能算法实现任务自动分配、路径动态规划，避免空驶拥堵，联动无人驾驶、破碎设备等系统，提升整体运输效能，同时具备异常告警、数据统计及决策支撑功能。

8.13.3 网络方案

采用5G独立专网架构，沿运输干线、采掘面等区域分区部署5G宏基站、小微基站，实现矿区全域无缝覆盖、重点区域冗余覆盖。核心网UPF及MEC边缘计算平台下沉矿区本地，实现调度指令、设备数据本地处理转发，降低时延、保障响应及时。

采用网络切片技术，为调度业务分配高优先级切片，保障指令、定位数据低时延高可靠（端到端时延 $\leq 25\text{ms}$ ，丢包率 $\leq 0.1\%$ ，可靠性 $\geq 99.99\%$ ）；为监测、视频回传分配独立切片，支持 ≥ 200 台卡车终

端并发接入。链路采用光纤环网+无线备份冗余架构，实时监测光纤状态，实现故障快速切换；基站采用防风防尘防晒防雷设计，适配露天恶劣环境。

8.13.4 产品方案

本场景核心产品及技术要求如下，所有产品需适配露天矿山恶劣作业环境，符合相关矿山安全规范：

1. 5G矿用车载终端：工业级设计，防护等级 $\geq$ IP67，支持5G传输、北斗高精度定位，具备数据采集、指令接收、异常告警功能，适配宽温宽压环境。
2. 卡车智能调度平台：具备任务分配、路径规划、车辆监控、运力优化等功能，支持多终端接入及与采掘、无人驾驶等系统联动，实现数据互通。
3. 高精度定位模块：支持北斗+GPS双模定位，精度 $\leq \pm 10\text{cm}$ ，抗干扰能力强，适配露天复杂地形定位需求。
4. 车辆状态监测传感器：含油耗、胎压等类型，实时采集运行参数、检测故障，数据上传间隔 $\leq 10\text{s}$ ，支撑车辆运维与能耗优化。
5. 露天矿专用5G基站：高增益天线，具备防风防尘等防护特性，覆盖半径 $\geq 500\text{m}$ ，支持车辆高速移动无缝切换。
6. MEC边缘计算节点：部署于矿区本地，实现数据本地处理、指令转发及缓存，降低时延、提升数据安全性。

8.14 露天矿人员定位系统

8.14.1 场景描述

露天矿山作业区域开阔、人员分布分散，涵盖采掘、运输、破碎、检修等多个岗位，作业人员流动性强，且存在高边坡、爆破区域、设备作业区等危险区域。传统人员管理依赖人工点名、对讲机联络，存在定位精度低、人员状态监控滞后、危险区域预警不及时、应急救援效率低等问题，易引发人员误入危险区域、意外碰撞等安全事故。本场景需实现作业人员精准定位、状态实时监测、危险区域预警、应急救援联动等核心功能，对网络广覆盖、高精度、低时延及抗干扰能力要求较高，保障人员作业安全。

8.14.2 解决方案

构建“5G+北斗高精度定位+人员终端+智能管控”一体化露天矿人员定位系统，遵循“精准定位、实时监控、风险预警、快速救援”原则，实现人员全流程安全管控。为所有作业人员配备5G智能定位终端，实时采集人员位置、移动轨迹、作业状态等数据；在高边坡、爆破区、设备作业区等危险区域部署定位信标与告警装置，划定电子围栏。地面管控平台基于5G专网传输的实时数据，实现人员位置可视化监控、电子围栏预警、轨迹追溯，当人员误入危险区域时，终端立即发出声光告警，平台同步推送预警信息至管理人员。系统联动应急救援系统，可快速定位被困人员位置，提升应急处置效率，同时具备人员考勤、作业区域统计等功能，规范人员管理。

8.14.3 网络方案

采用5G独立专网架构，结合露天矿区地形，沿作业区域、运输干线、危险区域及矿区边界，部署5G宏基站与补盲基站，实现人员作业全域无缝覆盖，危险区域信号冗余覆盖。核心网UPF下沉矿区本地，实现定位数据、告警信息本地处理与转发，降低传输时延，保障预警响应及时。

采用网络切片技术，为人员定位业务分配专用高优先级切片，保障定位数据、告警指令低时延高可靠（端到端时延 $\leq 20\text{ms}$ ，定位精度 $\leq \pm 5\text{cm}$ ，可靠性 $\geq 99.99\%$ ）；支持 ≥ 300 个定位终端并发接入，满足多人员同时定位需求。链路采用光纤环网+无线备份冗余架构，实时监测光纤状态，实现故障快速切换；基站采用防风、防尘、防晒、防雷设计，适配露天恶劣环境，确保网络稳定运行。

8.14.4 产品方案

本场景核心产品及技术要求如下，所有产品需适配露天矿山高温、粉尘、振动等恶劣作业环境，符合矿山人员安全相关规范：

1. 5G智能定位终端：工业级设计，防护等级 $\geq$ IP67，支持5G传输、北斗+GPS双模高精度定位，具备声光告警、紧急呼救、轨迹上报功能，续航 $\geq$ 12小时，适配作业人员携带。
2. 人员定位管控平台：具备人员定位可视化、电子围栏设置、预警推送、轨迹追溯、考勤统计、应急联动等功能，支持多终端接入，可与应急救援、设备调度系统联动。
3. 定位信标设备：部署于危险区域，支持与定位终端联动，精度 $\leq \pm 3\text{cm}$ ，具备防水防尘特性，为定位精度提供补充支撑。
4. 电子围栏告警装置：支持声光告警，可与管控平台联动，当人员误入危险区域时，立即触发告警，提醒人员撤离并通知管理人员。
5. 露天矿专用5G基站：高增益天线，覆盖半径 $\geq 500\text{米}$ ，具备抗干扰、防风防尘等特性，支持人员移动无缝切换，保障定位数据稳定传输。
6. 边缘计算节点：部署于矿区本地，实现定位数据本地处理、告警指令快速转发，降低时延，提升定位与预警响应效率。

8.15 露天矿边坡监测系统

8.15.1 场景描述

露天矿山边坡是开采作业的重要组成部分，受爆破震动、雨水冲刷、地质构造、采矿扰动等因素影响，易发生滑坡、坍塌等地质灾害，直接威胁作业人员、设备及矿山正常生产。传统边坡监测依赖人工巡检、人工测量，存在监测精度低、监测范围有限、数据滞后、预警不及时等问题，难以实现边坡隐患早发现、早预警、早处置。本场景需实现边坡位移、沉降、震动、渗流等参数实时监测、隐患精准预警、数据可视化分析、应急联动等核心功能，对网络广覆盖、高可靠、低时延及数据传输稳定性要求较高，保障露天矿生产安全。

8.15.2 解决方案

构建“5G+多传感器融合+边缘计算+智能预警”一体化露天矿边坡监测系统，遵循“全面感知、精准监测、智能预警、快速处置”原则，实现边坡全生命周期安全管控。在边坡不同区域、不同高度部署5G兼容型监测传感器（位移、沉降、震动、渗流等），实时采集边坡各项安全参数；在边坡关键点位部署高清摄像头，实现边坡工况可视化监测。监测数据通过5G专网实时传输至地面监测管控平台，平台结合AI算法对数据进行分析研判，自动识别边坡异常变化，划分隐患等级并推送分级预警信息至管理人员。系统联动应急救援、人员调度系统，隐患发生时快速触发预警、疏散人员设备，同时具备数据存储、轨迹追溯、报表生成功能，为边坡治理提供数据支撑。

8.15.3 网络方案

采用5G独立专网架构，结合露天矿边坡地形特点，沿边坡区域、监测点位、作业区域部署5G宏基站、小微基站，实现边坡监测全域无缝覆盖，关键监测点位信号冗余覆盖，确保监测数据无遗漏传输。核心网UPF及MEC边缘计算平台下沉矿区本地，实现监测数据、预警指令本地处理与转发，降低传输时延，保障预警响应及时性。

采用网络切片技术，为边坡监测业务分配专用高优先级切片，保障监测数据、预警指令低时延高可靠（端到端时延 $\leq 20\text{ms}$ ，丢包率 $\leq 0.1\%$ ，可靠性 $\geq 99.99\%$ ）；支持 ≥ 150 个监测终端并发接入，满足多点位、多参数同步监测需求。链路采用光纤环网+无线备份冗余架构，实时监测光纤线缆、光功率状态，

实现链路故障快速定位与自动切换；基站采用防风、防尘、防晒、防雷、抗震动设计，适配露天边坡恶劣环境，确保网络连续稳定运行。

8.15.4 产品方案

本场景核心产品及技术要求如下，所有产品需适配露天矿山高温、粉尘、振动、雨雾等恶劣作业环境，符合矿山地质灾害监测相关规范：

1. 5G兼容型监测传感器：涵盖位移、沉降、震动、渗流等类型，测量精度符合行业标准，支持5G实时数据上传，适配边坡复杂安装环境。
2. 边坡监测管控平台：具备数据实时采集、可视化展示、异常分析、分级预警、轨迹追溯、报表生成、应急联动等功能，可与人员定位、应急救援系统联动。
3. 矿用高清监测摄像头：支持星光级夜视、雨雾增强、抗眩光，通过5G专网实时回传边坡工况画面，实现可视化监测。
4. 预警装置：支持声光预警、短信推送，可与管控平台联动，隐患发生时快速触发预警，提醒现场人员撤离。
5. 露天矿专用5G基站：高增益天线，覆盖半径 ≥ 500 米，具备抗干扰、抗震动特性，适配边坡地形，保障监测数据稳定传输。
6. 边缘计算节点：部署于矿区本地，实现监测数据本地分析、预警指令快速转发，降低时延，提升预警响应效率，同时实现数据本地备份。

8.16 露天矿视频安防系统

8.16.1 场景描述

露天矿山作业区域开阔、点位分散，涵盖采掘面、破碎站、排土场、运输干线、物资仓库、出入口等关键区域，人员、设备流动性大，存在人员违规作业、设备异常操作、外来人员/车辆闯入、物资丢失等安全隐患。传统视频安防依赖固定摄像头、人工值守，存在监控盲区多、视频画质差、实时性不足、异常处置滞后等问题，难以实现全域安防管控。本场景需实现矿区全域视频覆盖、异常智能识别、实时告警、远程联动处置等核心功能，对网络高带宽、低时延、广覆盖及视频传输稳定性要求较高，筑牢露天矿安全生产安防防线。

8.16.2 解决方案

构建“5G+高清视频+AI智能分析+全域安防”一体化露天矿视频安防系统，遵循“全域覆盖、智能识别、实时预警、快速处置”原则，实现矿区安防全流程智能化管控。在矿区出入口、作业区域、危险区域、物资仓库等关键点位，部署5G高清红外摄像头、球机摄像头，实现全域无死角视频采集；通过AI智能算法，自动识别违规作业、外来闯入、设备异常、火情等隐患。视频数据及异常信息通过5G专网实时传输至地面安防管控平台，平台实现视频实时预览、回放、异常告警、联动处置，同步推送告警信息至管理人员终端。系统联动人员定位、应急救援、设备调度系统，异常发生时快速触发预警、调度人员处置，同时具备视频存储、轨迹追溯、报表生成功能，规范安防管理。

8.16.3 网络方案

采用5G独立专网架构，结合露天矿区地形，沿出入口、作业区域、运输干线、仓库等关键区域，部署5G宏基站、小微基站，实现矿区全域视频采集点位无缝覆盖，重点区域信号冗余覆盖，确保视频数据无遗漏、无卡顿传输。核心网UPF及MEC边缘计算平台下沉矿区本地，实现视频流本地转发、AI智能分析、异常信息本地处理，降低传输时延，保障告警响应及时。

采用网络切片技术，为视频安防业务分配专用高带宽切片，保障高清视频实时传输（带宽 ≥ 20 Mbps/路），端到端时延 ≤ 25 ms，丢包率 $\leq 0.1\%$ ，可靠性 $\geq 99.99\%$ ；支持 ≥ 100 路高清视频并发传输，满足全

域多点位同步监控需求。链路采用光纤环网+无线备份冗余架构，实时监测光纤线缆、光功率状态，实现链路故障快速定位与自动切换；基站采用防风、防尘、防晒、防雷设计，适配露天恶劣环境，摄像头具备抗干扰、防抖特性，确保视频传输稳定、画质清晰。

8.16.4 产品方案

本场景核心产品及技术要求如下，所有产品需适配露天矿山高温、粉尘、振动、雨雾、强日照等恶劣作业环境，符合矿山安防相关规范：

1. 5G高清安防摄像头：含固定枪机、球机，支持1080P及以上高清画质，具备红外夜视、雨雾增强、抗眩光、防抖功能，支持5G实时视频回传。
2. 视频安防管控平台：具备视频实时预览、回放、AI智能识别、异常告警、联动处置、视频存储、报表生成功能，可与人员定位、应急救援系统联动，支持多终端接入。
3. AI智能分析模块：支持违规作业、外来闯入、火情、设备异常等场景识别，识别准确率 $\geq 95\%$ ，可快速触发告警并推送信息。
4. 安防告警装置：支持声光告警、短信推送，可与管控平台联动，异常发生时快速触发告警，提醒现场人员注意并通知管理人员处置。
5. 露天矿专用5G基站：高增益天线，覆盖半径 ≥ 500 米，具备抗干扰、防风防尘特性，适配露天开阔地形，保障视频数据稳定传输。
6. 边缘计算节点：部署于矿区本地，实现视频流本地转发、AI智能分析、异常信息快速处理，降低时延，提升告警响应效率，同时实现视频本地备份。

8.17 露天矿环境监测系统

8.17.1 场景描述

露天矿山开采过程中会产生粉尘、噪声、有害气体，同时受天气变化影响，易出现高温、暴雨、大风等恶劣环境，不仅危害作业人员身体健康，还可能引发安全事故，影响矿山正常生产。传统环境监测依赖人工采样、实验室分析，存在监测范围有限、数据滞后、预警不及时、监测参数单一等问题，难以实现环境全域、实时、精准管控。本场景需实现粉尘、噪声、有害气体、温湿度等环境参数实时监测、异常智能预警、数据可视化分析、应急联动处置等核心功能，对网络广覆盖、高可靠、低时延及多终端并发接入能力要求较高，保障作业人员职业健康与矿山生产安全。

8.17.2 解决方案

构建“5G+多参数传感器+边缘计算+智能预警”一体化露天矿环境监测系统，遵循“全面感知、精准监测、智能预警、联动处置”原则，实现矿区环境全流程智能化管控。在采掘面、破碎站、运输干线、作业人员集中区域等关键点位，部署5G兼容型多参数环境监测传感器，实时采集粉尘浓度、噪声分贝、有害气体（一氧化碳、二氧化硫等）含量、温湿度等参数；在矿区制高点部署环境监测站，实现区域环境综合监测。监测数据通过5G专网实时传输至地面环境管控平台，平台结合AI算法对数据进行分析研判，自动识别环境异常，划分预警等级并推送告警信息至管理人员。系统联动通风、喷淋、人员调度系统，异常发生时自动启动喷淋降尘、通风换气等处置措施，同步提醒人员做好防护或撤离，同时具备数据存储、趋势分析、报表生成功能，为环境治理提供数据支撑。

8.17.3 网络方案

采用5G独立专网架构，结合露天矿区地形特点，沿采掘面、破碎站、运输干线、作业区域及矿区边界，部署5G宏基站、小微基站，实现环境监测点位全域无缝覆盖，重点污染区域信号冗余覆盖，确保监测数据无遗漏、稳定传输。核心网UPF及MEC边缘计算平台下沉矿区本地，实现监测数据、预警指令本地处理与转发，降低传输时延，保障预警响应及时。

采用网络切片技术，为环境监测业务分配专用高优先级切片，保障监测数据、预警指令低时延高可靠（端到端时延 $\leq 20\text{ms}$ ，丢包率 $\leq 0.1\%$ ，可靠性 $\geq 99.99\%$ ）；支持 ≥ 200 个监测终端并发接入，满足多点位、多参数同步监测需求。链路采用光纤环网+无线备份冗余架构，实时监测光纤线缆、光功率状态，实现链路故障快速定位与自动切换；基站及监测设备采用防风、防尘、防晒、防雷、抗振动设计，适配露天恶劣环境，确保网络与监测设备稳定运行。

8.17.4 产品方案

本场景核心产品及技术要求如下，所有产品需适配露天矿山高温、粉尘、振动、雨雾、强日照等恶劣作业环境，符合矿山环境监测相关规范：

1. 5G多参数环境监测传感器：涵盖粉尘、噪声、有害气体、温湿度等监测类型，测量精度符合行业标准，支持5G实时数据上传，适配复杂安装环境。
2. 露天矿环境管控平台：具备数据实时采集、可视化展示、异常分析、分级预警、联动处置、数据存储、趋势分析、报表生成等功能，可与通风、喷淋、人员定位系统联动。
3. 矿区环境监测站：部署于矿区制高点，集成多类高精度监测设备，实现区域环境综合监测，支持数据汇总分析与异常预警。
4. 环境预警装置：支持声光告警、短信推送，可与管控平台联动，环境参数超限时快速触发告警，提醒现场人员做好防护或撤离。
5. 露天矿专用5G基站：高增益天线，覆盖半径 ≥ 500 米，具备抗干扰、防风防尘、抗振动特性，适配露天地形，保障监测数据稳定传输。
6. 边缘计算节点：部署于矿区本地，实现监测数据本地分析、预警指令快速转发，降低时延，提升预警响应效率，同时实现数据本地备份。

9 安全防护

9.1 物理安全

9.1.1 设备安全

智慧矿山专网各应用场景涉及的所有终端设备、基站设备、控制设备及监测设备，明确物理安全防护通用要求，所有设备需严格遵循本标准，结合各场景特殊环境补充防护，确保设备在矿山复杂工况下稳定、安全运行，保障矿山生产安全。

（1）防爆防护要求

井下所有设备（含5G基站、传感器、控制器、终端等），防爆等级需符合《煤矿安全规程》及对应场景行业规范要求，其中井下核心区域（采掘面、变电所、水仓、瓦斯易积聚区等）设备防爆等级不低于Ex d I Mb，本安型设备防爆等级不低于Ex ib I Mb，严禁非防爆设备进入井下作业区域。

设备外壳需采用防腐蚀、抗冲击材质（优先选用不锈钢、高强度铝合金），外壳厚度不低于3mm，密封性能符合IP65及以上防护等级，防止井下瓦斯、粉尘、潮气侵入设备内部，引发安全隐患。

设备接口（电源接口、通信接口）需采用防爆密封接头，接头防护等级不低于IP67，接线处需做好绝缘处理，避免产生电火花，适配井下易燃易爆环境。

（2）环境适应性防护要求

温度适应性：井下设备需适应 $-40^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 工作环境，地面设备（空压机房、变电站等高温区域）需适应 $-20^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ 工作环境，设备需配备温度调节模块（散热片、加热片），确保在极端温度下正常启动、稳定运行，无死机、故障停机现象。

湿度与防水防护：井下潮湿区域（水仓、皮带巷、掘进面）设备防护等级不低于IP67，防水型设备（如排水场景相关设备）防护等级不低于IP68，设备内部需配备防潮干燥剂，避免潮气导致电路短路、设备损坏。

抗振动与抗冲击防护：风机房、空压机机房、电机车等振动较大区域的设备，需采用防震支架固定，设备内部元器件需做防震加固处理，抗振动等级不低于5G，抗冲击等级不低于1000m/s²，防止设备因振动、冲击导致元器件松动、损坏，影响运行稳定性。

防尘防护：井下高粉尘区域（采掘面、煤流运输巷道）设备，外壳需采用密封式设计，配备防尘滤网，滤网需具备可拆洗、易更换特性，防止粉尘进入设备内部，堵塞散热通道、损坏电路及传感器。

（3）安装与固定防护要求

设备安装需符合矿山设备安装规范，井下设备安装高度不低于1.5m，远离巷道顶板淋水、落石区域，避开设备运行通道及人员频繁往来区域，防止设备被碰撞、砸损。

基站、控制器等大型设备，需采用膨胀螺栓、防震支架双重固定，固定强度需满足设备自身重量及井下振动需求，防止设备松动、坠落，引发安全事故。

传感器、终端等小型设备，需安装在便于监测、不易碰撞的位置，采用卡扣、螺栓等方式固定，线缆需采用铠装保护，避免线缆磨损、断裂，影响数据传输及设备供电。

9.1.2 机房物理安全

本标准要求矿山核心机房、地面变电站机房、边缘机房及井下设备硐室应实行物理访问控制，设置门禁、视频监控与入侵检测装置，实行专人管理、授权进入。机房应满足防火、防水、防尘、防静电、防雷接地要求，配备不间断电源（UPS）与应急照明，确保在电网中断场景下关键网络设备连续运行。核心设备区应进行环境监测，对温度、湿度、烟感、漏水等状态实时告警，保障 5G 核心网、UPF、MEC、交换机等设备稳定可靠运行。

9.1.3 通信链路安全

矿山地面与井下通信链路应采用专用物理链路或逻辑隔离通道，严禁与公共网络混用。井下主干传输链路优先采用铠装光缆、阻燃线缆，沿巷道规范敷设，避开淋水、落石、高压干扰区域。关键控制链路应实现主备路由自动切换，保证在单条链路中断时业务不中断、时延不恶化。所有传输链路应具备链路状态监测、故障定位与异常告警能力，满足安全生产业务高可靠、低时延传输要求。

9.1.4 设备与接地安全

机房内设备应可靠固定、布局合理，保证散热与检修空间。通信设备、电源设备、基站设备应统一规范接地，满足矿山防爆与抗电磁干扰要求。井下链路接头、转接盒应采用防水、防尘、防爆密封处理，防止水汽、粉尘侵入造成短路或信号衰减，确保全矿井通信链路长期稳定、安全可控。

9.2 网络安全

本标准针对矿山 5G 专用网络建立全域网络安全防护体系，遵循分区、分级、分域防护原则，覆盖接入安全、传输安全、平台安全与数据安全，满足矿山安全生产高可靠、高可信要求。

网络应采用5G 独立专网 + 网络切片架构，实现生产控制业务与非控制业务逻辑隔离、物理保障，关键控制指令、安全监测数据使用专用高优先级切片，禁止与其他业务共用通道。

终端接入实行身份认证、设备鉴权、地址绑定三重准入机制，井下传感器、控制器、车载终端等设备需完成唯一标识认证后方可接入网络，严防非法设备接入。

建立边界防护、入侵检测、安全审计机制，对网络攻击、异常流量、非法指令等行为实时监测与阻断；关键数据传输采用加密机制，确保供电、通风、排水等安全生产业务不中断、不篡改、不劫持。

9.3 数据安全

本标准围绕矿山生产、监测、控制类数据建立全生命周期数据安全管理体系，遵循“谁采集、谁负责、谁使用、谁负责”原则，实现数据分类分级、传输加密、存储安全、权限可控，满足安全生产与隐私保护双重要求。

按照数据重要性实施分级分类管理，将供电、通风、排水、瓦斯、地质、人员定位等涉及安全生产的核心数据列为最高防护等级，实行专项存储、专项加密、专项审计，严禁非授权访问与越权操作。

数据传输与存储采用商用密码算法进行加密保护，核心控制指令、监测数据、地质模型、人员信息等传输过程中全程加密，防止数据窃听、篡改与伪造；数据存储实行本地优先、异地备份机制，关键数据定期自动备份，确保数据不丢失、可追溯、可恢复。

建立严格的数据访问权限与安全审计制度，实行身份认证、权限最小化、操作留痕，所有数据访问、修改、调用、导出均记录日志并长期留存；严禁数据外泄、违规共享与未脱敏公开使用，保障矿山生产数据全程安全可控。

9.4 应急安全

本标准围绕矿山 5G 智能系统建立全场景应急安全保障机制，遵循“预防为主、平战结合、快速响应”原则，针对网络中断、设备故障、生产异常、地质灾害等突发事件，形成统一指挥、分级处置、联动协同的应急处置体系，确保安全生产环节不中断、风险可控。

建立设备与网络冗余应急机制，核心网络设备、通信链路、基站及供电单元均应配置主备冗余，关键业务具备自动切换与故障自愈能力；当发生通信中断、设备掉电、链路损坏等异常时，系统应在规定时限内自动切换至备用通道或备用设备，保障通风、排水、供电、瓦斯监测等安全关键业务连续运行。

制定分级应急响应与处置流程，明确异常监测、告警推送、指令下达、现场处置、恢复验证的全流程规范；系统应具备自动告警、分级预警、远程联动控制功能，当出现瓦斯超限、风机故障、漏电、地质风险等紧急情况时，自动执行预设保护策略，同步推送告警信息至调度中心与运维人员，实现快速响应、精准处置。

建立应急演练与运维保障制度，定期开展网络中断、设备故障、生产异常等场景的应急演练，检验系统可靠性与处置效率；明确应急物资、备品备件、抢修队伍保障要求，确保异常发生时能快速下井处置、及时恢复系统功能，全面提升矿山 5G 智能化系统在极端工况下的安全保障与应急处置能力。

10 运营管理

10.1 运维体系建设

10.1.1 运维组织与职责

本标准要求矿山 5G 智能化系统应建立专业化、常态化运维组织体系，明确运维管理机构、技术负责人、现场运维人员及第三方支撑单位的岗位职责，实行统一管理、分级负责、责任到人。运维组织应覆盖网络、设备、平台、安全、现场处置等全环节，确保系统运行、故障处理、升级维护、应急保障等工作有序开展。各岗位职责应制度化、流程化，关键岗位实行持证上岗，确保运维队伍具备矿山安全作业、5G 通信、自动化控制及应急处置等综合能力。

10.1.2 运维流程规范

本标准对系统运维实行全流程规范化管理，建立包含日常巡检、状态监测、故障报修、诊断处理、验收闭环、日志归档的标准化运维流程。运维工作应做到定期巡检、实时监控、快速响应、及时处置，严格执行矿山井下安全作业规程。故障处理应遵循“先保安全、再恢复功能”原则，明确故障分级、响应时限、处置步骤与回检要求，实现运维全过程可追溯、可考核、可优化，保障 5G 专网及各智能应用场景长期稳定、安全可靠运行。

10.2 网络质量监控

10.2.1 监控指标与阈值

本标准要求建立覆盖5G 网络、业务应用、传输链路、光纤线缆的统一监控指标体系，实现关键指标可监测、可预警、可追溯。监控指标包括但不限于：信号强度与信噪比、上下行速率、端到端时延、抖动、丢包率、网络接通率、切换成功率、基站与核心网元运行状态等；同时纳入光纤线路衰减、光功率损耗、光缆中断、接头损耗、线缆温感、短路与异常扰动等传输链路指标。所有指标应根据安全生产场景要求设置分级告警阈值，超出阈值时自动上报告警，确保供电、通风、排水、瓦斯监测等控制类业务传输质量稳定可靠。

10.2.2 监控平台建设

应建设矿山 5G 专网一体化集中监控平台，实现对网元设备、业务质量、光纤线路、通信线缆的全域可视化监控。平台需实时监测基站、核心网、MEC、UPF 等设备运行状态，支持业务时延、带宽、丢包、切片质量等关键指标呈现；同时集成光纤链路监测、光缆路由监控、线缆状态监测功能，对光纤衰减、断点位置、链路损耗、线缆异常等进行实时监测与精准定位。平台应具备集中展示、分级告警、联动派单、历史查询、统计分析能力，形成“监测—预警—定位—处置—闭环”的一体化运维机制，保障矿井网络全程稳定、安全、可控。

10.3 成本优化管理

10.3.1 资源调度优化

基于业务需求动态调整网络资源，非作业时段（如夜间0:00-6:00）可关闭部分采掘面基站或降低基站功率，减少能耗；当终端接入数量较少时，合并低优先级切片资源，提高资源利用率。采用“按需扩容”策略，当带宽利用率连续7天 $\geq 85\%$ 时，再进行带宽扩容，避免资源浪费。

10.3.2 设备生命周期管理

建立设备生命周期台账，记录设备采购时间、型号、维护记录及预计报废时间（井下设备生命周期一般为5年，地面设备为8年）。定期对设备进行性能评估（每年 ≥ 1 次），对性能下降但仍可使用的设备，调整至非核心场景（如将井下基站调整至地面辅助区域）；对达到报废标准的设备，及时更换并集中处置，处置需符合环保要求。

10.4 人员培训与考核

10.4.1 培训体系

本标准要求建立分层分类、常态化、专业化的 5G 智能矿山人员培训体系，覆盖运维人员、调度人员、现场作业人员及管理人员。培训内容应包含5G 网络基础知识、设备操作与维护、场景业务流程、安全防护规范、应急处置流程、光纤线路维护、机房与链路安全、数据安全等内容。采用理论教学、实操演练、案例复盘、井下现场实训相结合的方式，定期组织专项培训与更新培训，确保相关人员熟练掌握系统运行、日常巡检、故障判断、应急操作、安全防护等技能，满足系统长期稳定运行要求。

10.4.2 考核机制

应建立培训—考核—上岗—再提升的闭环考核机制，对参训人员实行理论考试、实操考核、应急演练评估相结合的综合评价。考核结果与岗位准入、上岗资格、绩效评价挂钩，关键运维及操作岗位必须考核合格后方可持证上岗。定期开展复训与复核，对不合格人员实行暂停上岗、强化培训、补考合格后方可复岗，全面提升运维与作业人员的专业能力、安全意识和应急处置水平。

o

参考文献

索引

图编号和图题

表编号和表题