

KA

中华人民共和国矿山安全行业标准

KA/T XXXXX—XXXX

金属非金属地下矿山 5G 通信系统技术规范

Technical specification of 5G communication system in underground metal and
nonmetal mines

（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

国家矿山安全监察局 发布

目 次

前 言 III

1 范围 4

2 规范性引用文件 4

3 术语和定义 4

4 缩略词 5

5 技术要求 5

 5.1 一般要求 5

 5.2 环境要求 5

 5.3 供电电源 5

 5.4 系统组成及架构 6

 5.5 基本功能 6

 5.6 主要技术指标 7

 5.7 电源波动适应能力 8

 5.8 外壳防护性能 8

 5.9 工作稳定性 8

 5.10 电磁兼容性能 8

 5.11 可靠性 9

 5.12 矿用一般型性能 9

6 试验方法 9

 6.1 试验条件 9

 6.2 受试系统的连接与测试准备 10

 6.3 基本功能试验 11

 6.4 主要技术指标试验 13

 6.5 电源波动适应能力试验 15

 6.6 外壳防护性能试验 15

 6.7 工作稳定性试验 15

 6.8 电磁兼容性能试验 15

 6.9 可靠性试验 15

 6.10 矿用一般型性能试验 16

7 检验规则 16

 7.1 检验分类 16

 7.2 出厂检验 16

 7.3 型式检验 16

附 录 A （资料性） 金属非金属地下矿山应用场景的 5G 业务需求 18

 A.1 井下生产工作面远程控制业务场景 18

 A.2 井下 AI 高清视频监视业务场景 18

 A.3 井下设备传感监控业务场景 18

A. 4 音视频通话业务场景 19

A. 5 运输车辆自动驾驶业务场景 19

A. 6 人员定位与安全预警场景 19

A. 7 井下通风系统监测控制业务场景 19

A. 8 井下巡检机器人业务场景 20

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。

请注意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。

本文件由国家矿山安全监察局提出。

本文件由矿山安全行业标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

金属非金属地下矿山 5G 通信系统技术规范

1 范围

本文件规定了金属非金属地下矿山5G通信系统的技术要求、试验方法和检验规则。

本文件适用于金属非金属地下矿山5G通信系统。

本文件不适用于与煤共生、伴生的金属非金属地下矿山5G通信系统。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 2887 电子计算机场地通用规范
- GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）
- GB 4824 工业、科学和医疗设备 射频骚扰特性 限值和测量方法
- GB/T 5080.1 可靠性试验 第1部分：试验条件和统计检验原理
- GB/T 5080.7 设备可靠性试验 恒定失效率假设下的失效率与平均无故障时间的验证试验方案
- GB/T 5271.1-2000 信息技术 词汇 第1部分：基本术语
- GB 8702-2014 电磁环境控制限值
- GB/T 12173-2008 矿用一般型电气设备
- GB 16423 金属非金属矿山安全规程
- GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
- GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
- GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
- GB/T 17626.11 电磁兼容 试验和测量技术 第11部分：对每相输入电流小于或等于16 A设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验
- GB/T 17799.2 电磁兼容 通用标准 第2部分：工业环境中的抗扰度标准
- AQ/T 2051 金属非金属地下矿山人员定位系统通用技术要求
- AQ 6210-2007 煤矿井下作业人员管理系统通用技术条件
- MT/T 772-1998 煤矿监控系统主要性能测试方法
- YD/T 1080-2018 数字蜂窝移动通信名词术语
- YD/T 3930-2024 5G数字蜂窝移动通信网 6GHz以下频段基站设备测试方法（第一阶段）
- YD/T 3973-2021 5G网络切片 端到端总体技术要求
- YD/T 4002 5G数字蜂窝移动通信网 增强移动宽带终端设备测试方法（第一阶段）

3 术语和定义

GB 16423界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

终端 Terminal

系统或通信网络中的功能单元，可用于录入或取出数据。

[来源：GB/T 5271.1-2000，01.03.11]

3.2

网络切片 Network Slicing

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

[来源：YD/T 3973—2021，3.1.1]

3.3

小区 Cell

一个基站或该基站的一部分（扇形天线）所覆盖的区域。

[来源：YD/T 1080—2018，3.4.5]

3.4

基站控制器 Baseband Controller

用于5G基带信号处理的通信设备，具有5G基带信号的调制和解调、无线资源管理、信令处理、操作维护、时钟信号同步等功能，具有与传输网络的传输接口、操作维护接口、环境监控设备接口等。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CPE：用户驻地设备（Customer Premises Equipment）

eMBB：增强移动宽带（enhanced Mobile Broadband）

IP：互联网协议（Internet Protocol）

LTE：长期演进技术（Long-Term Evolution）

NB-IoT：窄带物联网（Narrowband Internet of Things）

RedCap：轻量化（Reduced Capability）

SA：独立组网（Standalone）

5G NR：第五代新无线（5th Generation New Radio）

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 系统应符合本文件的规定，系统中的设备应符合本文件和相关标准的规定，并按照规定的程序和国家授权的检验机构审核备案的图样和技术文件制造和成套。

5.1.2 系统及系统中设备纳入安全标志管理的，应取得矿用产品安全标志。

5.1.3 系统必须具有防雷电保护，入井电缆和含金属的光缆的入井口处必须具有防雷措施。

5.1.4 系统应符合网络安全相关要求，系统的矿用 5G 核心网和 5G 接入网设备应符合相关网络安全规范，并提供相应证明材料。

5.1.5 安装在含硫或含卤等具有腐蚀性介质的金属非金属地下矿山的设备应具备相应的防腐蚀措施。

5.1.6 井下爆破器材库、油库等具有爆炸危险环境用的电气设备应采用防爆型。

5.2 环境要求

5.2.1 系统中用于机房、调度室的设备，应能在下列条件下正常工作：

- a) 环境温度：15℃～30℃；
- b) 相对湿度：40%～65%；
- c) 温度变化率：小于 10℃/h，且不应结露；
- d) 大气压力：80 kPa～106 kPa；
- e) GB/T 2887 规定的尘埃、照明、噪声、电磁场干扰和接地条件；
- f) 无显著振动和冲击。

5.2.2 除有关标准另有规定外，系统中用于金属非金属地下矿山的设备应在下列条件下正常工作：

- a) 环境温度：0℃～40℃；
- 注：温度超出上述范围时补充相关要求。
- b) 平均相对湿度：不大于 95%（+25℃）；
- c) 大气压力：80 kPa～106 kPa。

注：当大气压力低于80 kPa时，设备相关要求应按国家有关标准规定进行换算。

5.3 供电电源

5.3.1 地面设备交流电源应满足下列要求：

- a) 额定电压：220 V/380 V，允许偏差 $-10\% \sim +10\%$ ；
- b) 电压总谐波畸变率：不大于 5% ；
- c) 频率：50 Hz，允许偏差 $\pm 5\%$ 。

5.3.2 井下设备交流电源应满足下列要求：

- a) 额定电压：127 V/380 V/660 V/1 140 V，允许偏差 $-25\% \sim +10\%$ ；
- b) 电压总谐波畸变率：不大于 10% ；
- c) 频率：50 Hz，允许偏差 $\pm 5\%$ 。

5.3.3 井下设备直流电源应满足下列要求：

- a) 额定电压：12 V/18 V/24 V/48 V；
- b) 周期与随机偏移（峰—峰值） ≤ 250 mV。

5.4 系统组成及架构

5.4.1 金属非金属地下矿山 5G 通信系统（以下简称系统）一般由 5G 通信核心网（以下简称核心网）、大区核心网（若有）、传输网、5G 通信基站控制器（以下简称基站控制器）、5G 通信基站（以下简称基站）和 5G 通信终端（以下简称终端）组成。金属非金属 5G 系统架构如图 1 所示。

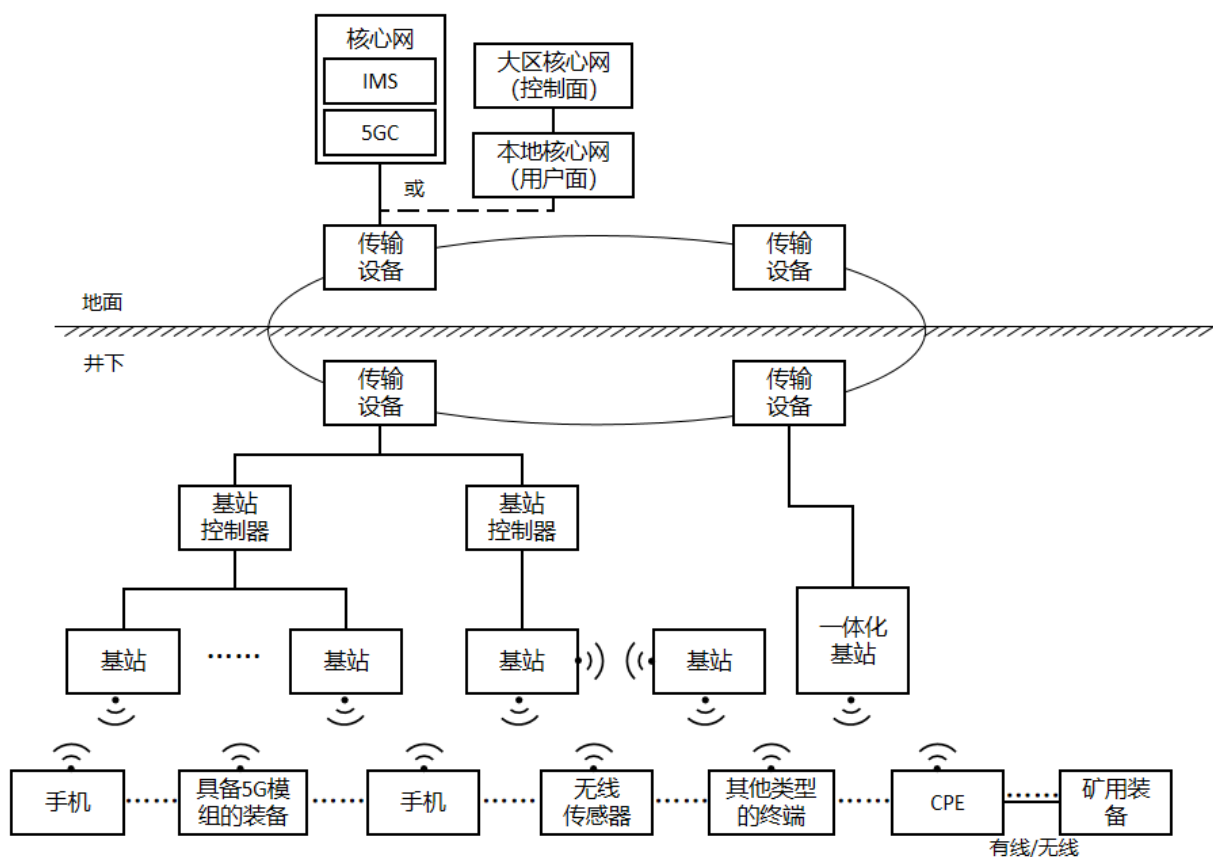


图1 金属非金属地下矿山 5G 通信系统架构示意图

5.4.2 系统宜部署独立的核心网设备；也可在远端部署大区核心网（控制面），并在矿山本地部署核心网（用户面）。

5.4.3 系统的基站控制器与基站可独立设计与部署，也可一体化集成。

5.5 基本功能

5.5.1 系统应支持多种类型终端的接入，终端类型包括但不限于矿用手机、视频摄像头、CPE 等。

5.5.2 系统应支持多种类型模组的接入，模组类型如 eMBB 模组、RedCap 模组等。

5.5.3 系统应具有支持金属非金属地下矿山设备的视频回传和远程控制的功能。

- 5.5.4 系统应具有支持金属非金属地下矿山高清视频摄像机的视频实时传输功能。
- 5.5.5 系统应具有支持金属非金属地下矿山作业设备状态信息及多种传感器采集数据的实时传输功能。
- 5.5.6 系统应具有支持语音通话、视频通话及短信收发功能。
- 5.5.7 系统应具有支持金属非金属地下矿山作业人员、车辆和设备的实时定位功能，至少应满足 AQ/T 2051 的要求。
- 5.5.8 系统应支持端到端网络切片功能，提供不同业务差异化的切片资源分配。
- 5.5.9 系统应具有终端认证、检查和限制非授权终端接入系统的功能。
- 5.5.10 系统应支持设备的冗余保护功能，当核心网主设备或主板卡故障时，切换备用设备或备用板卡继续提供服务。
- 5.5.11 系统应具有 5G 设备管理功能，包括设备状态监测和告警功能，宜具备链路监测功能。

5.6 主要技术指标

5.6.1 无线信号制式

应支持 5G NR 制式，宜支持 5G NR、LTE 多制式同时工作。

5.6.2 工作模式

应支持独立组网（SA）。

5.6.3 工作频段

工作频段优先在下列频段中选取：700 MHz、800 MHz、900 MHz、1.9/2.1 GHz、2.6 GHz、3.3 GHz、3.5 GHz、4.9 GHz、6 GHz 等，也可选取其他频段。

5.6.4 吞吐率

单用户的上行和下行峰值吞吐率应满足表1和表2峰值吞吐量的85 %。

表1 单用户的上行和下行峰值吞吐量（TDD 制式）

参考带宽	帧结构	基站通道数	上行峰值吞吐量	下行峰值吞吐量
100 MHz	7D2U1S	8T8R/4T4R/2T2R	250 Mbps	750 Mbps
100 MHz	5D3U2S	8T8R/4T4R/2T2R	375 Mbps	660 Mbps
100 MHz	1D3U1S	8T8R/4T4R/2T2R	750 Mbps	350 Mbps

示例：帧结构 1D3U1S 代表 5G 网络的上下行子帧配比为 DUUUS，S 一般也分配给下行，那么 1D3U1S 上下行的子帧配比是 3:2，即为上行分配较多的频谱资源。

表2 单用户的上行和下行峰值吞吐量（FDD 制式）

参考带宽	基站通道数	上行峰值吞吐量	下行峰值吞吐量
2*10 MHz	2T4R/2T2R	55 Mbps	110 Mbps
2*20 MHz	2T4R/2T2R	115 Mbps	225 Mbps
2*30 MHz	2T4R/2T2R	175 Mbps	350 Mbps

注：若系统具备 FDD SUL 模式，2*30 MHz 参考带宽条件下的单用户上行峰值吞吐量宜不低于 350Mbps。

5.6.5 平均时延

系统平均时延应不高于 50 ms。

5.6.6 端到端时延稳定性

系统在 20 Mbps 上行视频业务时，下行控制业务的端到端时延稳定性小于 100 ms 的概率应不低于 99.99 %。

5.6.7 丢包率

单用户的丢包率 ≤ 0.01 %。

5.6.8 双机切换时间

从核心网主设备或主板卡故障到备用设备或备用板卡提供服务时间手动切换不大于5 min，自动切换不大于60 s。

5.6.9 射频发射功率

金属非金属地下矿山的基站和终端射频发射功率，应在产品技术文件中明确，且最大限制应符合GB 8702-2014第4章的规定。发射功率以硬件（包括固化不可调的程序）的最大值为依据。

5.6.10 无线覆盖半径

OTA暗室、地面空旷无遮挡条件下或煤矿井下大巷，基站无线覆盖半径应符合表3中对应频段的要求。

表3 基站无线覆盖半径

无线工作频段	边缘速率	无线覆盖半径
1 GHz以下频段	1 Mbps	≥ 600 m
	20 Mbps	≥ 400 m
1 GHz~6 GHz	1 Mbps	≥ 200 m
	20 Mbps	≥ 150 m
注：边缘速率1Mbps条件下，对应无线覆盖半径内可至少支持语音业务，边缘速率20 Mbps条件下，对应无线覆盖半径内可支持控制类业务。		

5.6.11 有线传输距离

基站到基站控制器的有线传输距离 ≥ 10 km。

5.6.12 接收灵敏度

终端接收灵敏度 ≤ -78.5 dBm，基站接收灵敏度 ≤ -93 dBm。

5.6.13 手持终端连续工作时间和电池寿命

5.6.13.1 手持终端连续工作时间应不小于11 h，其中，通话时间应不小于2 h。

5.6.13.2 具备定位功能的手持终端，连续工作时间和电池寿命满足如下要求：

- c) 采用可充电电池的，每次充电应能保证定位终端连续工作时间不小于7 d；
- d) 采用不可更换电池的，电池寿命应不小于2 a，可更换的电池寿命应不小于6 mon。

5.6.14 系统设备备用电源工作时间

在电网停电后，备用电源应能保证系统连续工作4 h以上。

5.6.15 定位精度

具备定位功能的系统，在满足AQ/T 2051要求的前提下，定位精度3 m~10 m的概率不低于90 %。

5.7 电源波动适应能力

供电电压在规定的电压波动范围内变化时，系统的主要功能和主要技术指标应满足5.5、5.6.1~5.6.7的规定。

5.8 外壳防护性能

系统井下设备外壳防护等级应不低于IP54。

5.9 工作稳定性

系统应进行工作稳定性试验，通电试验时间应不小于7 d，其主要功能和主要技术指标应满足5.5、5.6.1~5.6.7的规定。

5.10 电磁兼容性能

5.10.1 发射限值

5.10.1.1 传导发射限值

系统电源端口和信号端口传导骚扰限值应满足GB 4824中1组A类设备的要求。基站传导发射的免测频段为基站核准工作频段的中心频率加减5 %。

5.10.1.2 辐射发射限值

系统基站的电磁辐射骚扰限值应满足GB 4824中1组A类设备的要求。基站电磁场辐射发射的免测频段为基站核准工作频段的中心频率加减2.5倍受试设备支持的最大信道带宽。

5.10.2 抗扰度

5.10.2.1 设于地面的设备应能通过 GB/T 17626.2 规定的严酷等级为 3 级的静电放电抗扰度试验，试验过程中系统工作正常，未出现设备死机、复位、掉电现象；数据通信未见异常。评价等级为 A。

5.10.2.2 系统应能通过 GB/T 17626.3 规定的严酷等级为 2 级的射频电磁场辐射抗扰度试验，80 MHz~1 000 MHz 10 V/m, 1 kHz 80% AM; 1 000 MHz~6 000 MHz 3V/m, 1 kHz 80% AM; 步进 1 %; 驻留时间 1 s; 对样品进行四面照射。试验过程中系统工作正常，未出现设备死机、复位、掉电现象；数据通信未见异常。评价等级为 A。

5.10.2.3 系统应能通过 GB/T 17626.4 规定的严酷等级为 2 级的电快速瞬变脉冲群抗扰度试验，试验过程中系统工作正常，未出现设备死机、复位、掉电现象；数据通信未见异常。评价等级为 A。

5.10.2.4 系统交流电源端口应能通过 GB/T 17626.5 规定的严酷等级为 3 级的浪涌（冲击）抗扰度试验，评价等级为 B。系统直流电源端口和信号端口应能通过 GB/T 17626.5 规定的严酷等级为 2 级的浪涌（冲击）抗扰度试验，评价等级为 B。试验过程中系统功能和性能水平在试验期间出现下降或失效，但试验结束后系统无需人为干预即可自行恢复正常功能和性能水平。

5.10.2.5 系统交流端口及直流端口应能通过 GB/T 17626.6 规定严酷等级为 3 级的射频场感应的传导骚扰抗扰度试验，试验过程中系统工作正常，未出现设备死机、复位、掉电现象；数据通信未见异常。评价等级为 A。

5.10.2.6 系统外壳端口应能通过 GB/T 17626.8 规定稳定持续磁场严酷等级为 3 级，短时试验等级 4 级的工频磁场抗扰度试验，试验过程中系统工作正常，未出现设备死机、复位、掉电现象；数据通信未见异常。评价等级为 A。

5.10.2.7 交流端口：电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度限值应符合 GB/T 17626.11 中的规定；0 % UT 持续半个周期；40 % UT 持续 10 个周期。试验中允许功能或性能暂时丧失或降低，但在骚扰停止后能自行恢复，不需要操作者干预。

5.10.2.8 直流端口：电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度限值应符合 GB/T 17626.29 中的规定；电压暂降 70 %UT, 持续时间 1 s, 试验中允许功能或性能暂时丧失或降低，但在骚扰停止后能自行恢复，不需要操作者干预，评价等级为 B；短时中断高阻抗 0 %UT 持续时间 1 s, 功能或性能暂时降低或丧失，但需要操作者干预才能恢复，评价等级为 C；电压变化 85 %和 125 %UT 持续时间 1 s, 试验过程中系统工作正常，未出现设备死机、复位、掉电现象；数据通信功能正常，评价等级为 A。

注：系统功能与性能正常水平；未出现设备死机、复位、掉电现象；数据通信功能正常。

5.11 可靠性

系统设备的平均无故障时间（MTBF）应不小于40 000 h。

5.12 矿用一般型性能

金属非金属地下矿山的电气设备应满足GB/T 12173标准的有关要求。

6 试验方法

6.1 试验条件

6.1.1 试验环境条件

除另有规定外，试验应在以下环境条件下进行：

- a) 环境温度：15 ℃~35 ℃；
- b) 相对湿度：45 %~75 %；
- c) 大气压力：86 kPa~106 kPa。

6.1.2 电源条件

除非有关标准另有规定，测试用电源应符合以下要求：

- a) 交流供电电源：
 - 1) 电压：误差应不大于 2 %；
 - 2) 频率：50 Hz，其误差应不大于 1 %；
 - 3) 谐波失真系数：应不大于 5 %。
- b) 直流供电电源：
 - 1) 电压：误差应不大于 2 %；
 - 2) 周期与随机偏移：≤1 %（为周期与随机偏移的峰到峰值，为直流供电电压额定值）。

6.1.3 试验仪器和设备

试验仪器和设备应满足以下要求：

- a) 试验仪器和设备的准确度应保证所测性能对准确度的要求，其自身准确度应不大于被测参数 1/3 倍的允许误差。试验用的仪器和工具见表 3；
- b) 试验仪器和工具应检定或校准合格；
- c) 试验仪器和工具的配置应不影响测量结果；
- d) 试验仪器和设备的数量根据实际测试需要进行配置；
- e) 采用工具/测试软件实现时，应为三方溯源工具/测试软件。

表4 试验用的仪器和设备

序号	名称	备注
1	5G信号源	
2	频谱分析仪	支持被测5G通信系统频段（或具备5G解调插件）
3	5G无线通信综合测试仪	
4	网络性能测试仪	支持5G网络性能测试
5	射频信号衰减器	
6	光功率计	
7	光衰减器	
8	网络性能测试仪	
9	万用表	
10	激光测距仪	
11	专网综测仪服务器	或服务端软件
12	专网综测仪用户端	或用户端软件

6.2 受试系统的连接与测试准备

6.2.1 受试系统要求

出厂检验和型式检验时，系统测试至少应具备下列设备：

- a) 网管、核心网、基站控制器 1 套，可根据具体情况适当增加设备；
- b) 地面调度台 1 台套（含调度服务器），可根据具体情况适当增加设备；
- c) 基站：出厂检验时，为订货的全部基站；型式检验时应不少于 3 台；若具备基站电源，应包括在其中；若有多种型式的基站或具有基站功能的设备，每种至少 1 台；
- d) 终端和模组：出厂检验时，为订货的全部终端和模组；型式检验时应不少于基站内和基站间可同时通信的终端和模组数量；EMBB 或 RedCap 模组，每种至少 1 台；若有其他型式的终端或模组的设备，每种至少 1 台；
- e) 传输设备 1 套，若有多种型式的传输设备，每种至少 1 台；
- f) 构成系统的其他必要设备。

6.2.2 受试系统的连接

受试系统的连接如图2所示：

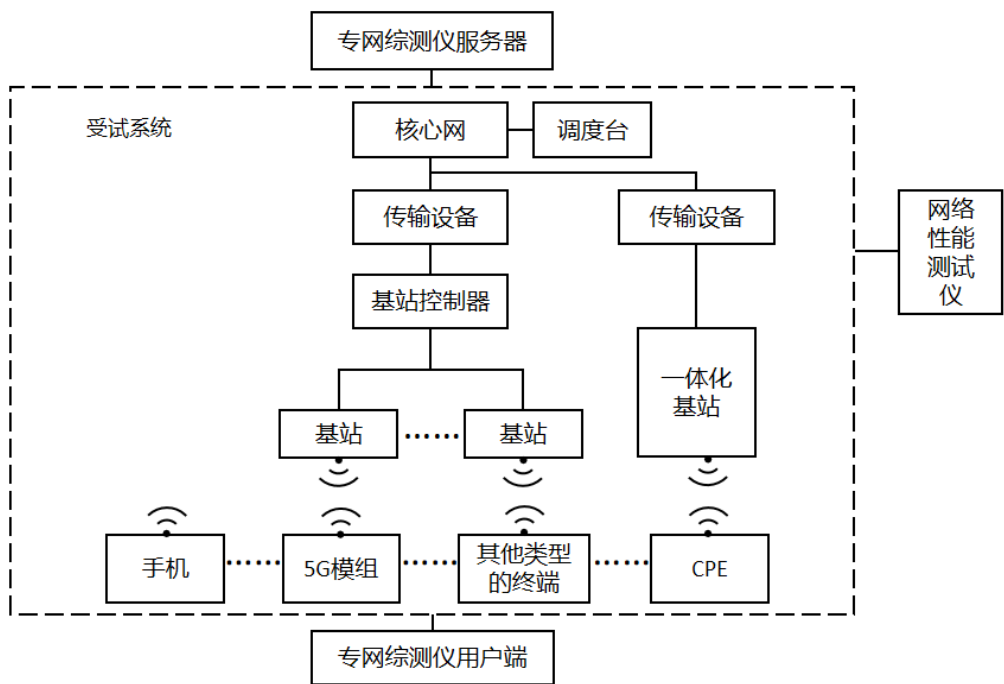


图2 受试系统连接图

其中，专网综测仪服务器或模拟服务端软件，配合专网综测仪用户端或用户端软件完成煤矿的模拟业务测试；专网综测仪用户端或通用计算机加载用户端软件，配合专网综测仪服务器或服务端软件完成煤矿的模拟业务测试。

6.2.3 受试系统的测试准备

- 受试系统的测试准备如下：
- a) 查看 5G 小区正常激活，测试终端配置开户 APN、设置 SA 模式，入网正常；
 - b) 测试终端支持通过 Web 页面或相关工具中查看 RSRP、SINR 信息；
 - c) 测试服务器通过有线方式连接 5G 网络，配置 5G 网络有效 IP；
 - d) 测试工具通过有线方式连接 5G 终端，配置 5G 网络有效 IP；
 - e) 切片测试时，5G 网络需开启切片特性和配置切片关键参数；
 - f) 依据 RSRP 和 SINR 确定测试点分为 5G 网络的近点 $RSRP \geq -75 \text{ dBm}$ ， $SINR \geq 20 \text{ dB}$ ；5G 网络的中点 $RSRP \geq -85 \text{ dBm}$ ， $SINR \geq 10 \text{ dB}$ ；5G 网络的远点 $RSRP \geq -105 \text{ dBm}$ ， $SINR \geq 10 \text{ dB}$ 。

6.2.4 受试系统连通性测试

- 受试系统连通性测试如图2所示，试验方法如下：
- a) 将专网综测仪用户端通过网线连接到测试终端的以太网口；
 - b) 专网综测仪用户端向待测 5G 网络发起 Ping 包指令请求检测网络连通性，Ping 包指令目的 IP 地址为专网综测仪服务器的 IP 地址，包大小 100 Bytes/次，发包间隔 1 s，共进行 10 次；
 - c) 专网综测仪服务器向待测 5G 网络设备或测试设备发起 Ping 包指令请求检测网络连通性，Ping 包指令目的 IP 地址为终端业务 IP 地址，包大小 100 Bytes/次，发包间隔 1 s，共进行 10 次；
 - d) 查看核心网到终端双向均应全部连通。确保所有参与测试的组件间通信链路完全畅通。

6.3 基本功能试验

6.3.1 终端接入功能试验

将测试终端置于5G网络的近点区域时，接入系统组成的各类型终端，均应能实现正常工作并记录终端信息。

6.3.2 5G 模组接入功能试验

不同类型5G模组的设备置于5G网络中，如eMBB模组和RedCap模组设备可接入系统，且传输数据功能正常。

6.3.3 摄像机音视频的远程实时传输功能试验

摄像机音视频的远程实时传输功能试验方法如下：

- a) 专网综测仪用户端上安装视频服务器并配置标准视频信号发生器或实际视频设备，分辨率1920*1080 P，码率上限2 Mbit/s，接收缓存不小于1 s，测试服务器上安装媒体播放器；
- b) 启动上行视频播放，持续5 min，专网综测仪用户端通过模拟视频业务数据在专网综测仪服务器上查看卡顿时长应不超过200 ms。

6.3.4 数据采集的实时传输功能试验

数据采集的实时传输功能试验方法如下：

- a) 将10个测试终端放置于5G网络中；
- b) 专网综测仪用户端和专网综测仪服务器完成配置，并安装相关测试软件；
- c) 从专网综测仪用户端发起上行Ping包指令业务，包大小为100 Bytes/次；
- d) 同时启动10路上行Ping包指令测试，并持续5 min；
- e) 统计每一路ping包指令时延的平均时延、最大值时延、最小值时延；
- f) 专网综测仪用户端时延最大值应不超过200 ms。

6.3.5 远程控制功能试验

在调度终端根据相关标准要求下达远程控制指令，检查被控设备是否按照指令执行相应动作。测试方式如下：

- a) 测试终端置于系统无线工作频段对应边缘速率为20 Mbps的无线覆盖半径最远点；
- b) 上行视频播放，专网综测仪用户端上安装视频服务器并配置标准视频信号发生器或实际视频设备，分辨率1920*1080 P，码率2 Mbit/s，接收缓存不小于1 s，测试服务器上安装媒体播放器；
- c) 下行控制命令下发，专网综测仪服务器发Ping包指令，包大小100 Bytes/次，发包间隔25 ms；
- d) 同时启动上行视频和下行控制命令下发，持续5 min，在专网综测仪用户端通过模拟多个视频业务数据在专网综测仪服务器的数据分析，查看卡顿时长应不超过200 ms；
- a) 下行控制命令，丢包不超过1次。

6.3.6 人员、车辆和设备的实时定位功能试验

按AQ 2051的有关规定进行。并进行下述测试：

- a) 测试终端保持在网状态，采用合并小区组网；
- b) 测试人员在具备定位功能的基站定位区域内手持终端设备匀速移动，同时终端下行连续Ping包，包大小100 Bytes/次，发包间隔25 ms；
- a) 测试终端在选取的测试点，基站触发定位，记录定位数据的数值，且定位数据随着测试人员移动而变化。

6.3.7 网络切片功能

端到端切片功能试验方法如下：

- a) 测试终端3部，终端1上传20 Mbps视频业务，记录视频速率和视频质量，终端2和终端3加满灌包增加小区上行负荷，查看终端1的视频速率下降和视频卡顿；
- b) 配置核心网切片，将终端1配置为切片1，为高优先级业务专用切片，将终端2和终端3配置为切片2，为普通用户切片；
- c) 配置基站切片，切片1的无线资源预留20%，切片2不做无线资源预留；
- d) 终端重新入网，重复步骤a)，查看终端1的视频速率无下降和视频流畅无卡顿和花屏。

6.3.8 5G终端认证、检查和限制非授权终端接入系统的功能试验

5G终端认证、检查和限制非授权终端接入系统的功能试验方法如下：

- a) 组网如图 2 所示，专网综测仪服务器模拟企业安全认证服务器，核心网配置二次认证；
- b) 在专网综测仪上设置测试终端可接入待测 5G 网络，测试终端发送访问专网综测仪服务器的业务请求，查看测试终端应能正常访问专网综测仪服务器；
- c) 在专网综测仪上设置测试终端不可接入待测 5G 网络，测试终端重启，发送访问专网综测仪服务器的业务请求，查看测试终端不能访问专网综测仪服务器。

6.3.9 核心网双设备冗余保护功能试验

——采用热容灾备份功能时：

- a) 核心网设备 2 套，配置热容灾备份功能；
- b) 测试终端 3 部，终端 1 和终端 2 支持 5G 语音，专网综测仪连接终端 3（CPE）；
- c) 终端 1 向终端 2 发起语音 Ping 包呼叫，终端 1 与终端 2 可正常互通；
- d) 保持通话状态下，断开主用核心网用户面设备供电；
- e) 终端 1 和终端 2 仍持续进行语音 Ping 包通信，时长大于 30 min，卡顿小于 4 s；
- f) 专网综测仪应 Ping 通，核心网掉电重启后应能成功接入 5G 网络；

——采用冷容灾备份功能时：

- a) 测试终端 2 部，终端 1 和终端 2 支持 5G 语音通话；
- b) 终端 1 向终端 2 发起语音呼叫，终端 1 与终端 2 正常通话；
- c) 保持通话状态下，断开主用核心网用户面设备供电，并立即手动启动备用核心网；
- d) 使终端 1 不断重新呼叫终端 2，直到重新恢复通话；
- e) 记录从主用核心网断电到重新恢复通话的时间（不含启动时间），应不超过 60 s。

6.3.10 5G 设备管理功能试验

5G设备管理功能试验方法如下：

- a) 系统设备已接入网管，并在网管上完成初始配置；
- b) 在网管上查看系统中所有的 5G 设备状态应显示正常；
- c) 将基站与核心网的连接断开，网管应显示设备的异常告警。

6.4 主要技术指标试验

6.4.1 无线信号制式和工作频段测试

将5G无线通信综合测试仪与5G手机终端通过有线或无线方式相连，通过无线通信综合测试仪验证手机的通信类别与制式。

将5G信号分析仪调到NR（5G）档位，通过射频电缆连接基站，通过观察5G信号分析仪能否正确解调 5G NR信号，并结合波形图、星座图、EVM等指标来综合判定基站的通信类别与制式以及工作频段。

6.4.2 工作模式测试

系统支持独立组网（SA）参照图3进行评定。



图3 SA组网架构示意图

评定方式如下：

- a) 核查系统组成与系统构架图一致性；
- b) 通过频谱仪、无线通信综合测试仪测试基站、手机等的工作频段及信号制式，以此核实系统为 5G 通信系统；
- c) 通过以上对系统组网方式进行综合判定。

6.4.3 吞吐率检验

吞吐率测试方法如下：

- a) 将基站、被试终端与网络性能测试仪相连，被测终端置于 5G 网络近点区域；
- b) 配置网络性能测试仪；
- c) 按不同帧长度（64, 128, 256, 512, 1 024, 1 280, 1 518）进行吞吐量测试，丢包率 $\leq 5\%$ ，测试时间 30 s，吞吐量取最大值；
- d) 不同类型的基站，分别测试，最低值应不低于表 1 或表 2 对应数值的 85 %。

6.4.4 网络时延及稳定性、丢包率检验

系统平均时延、端到端时延稳定性及丢包率测试方法如下：

- a) 将基站、被试终端与网络性能测试仪相连，被测终端置于 5G 网络中点区域；
- b) 配置网络性能测试仪；
- c) 按不同帧长度（64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518）进行时延测试，根据 6.4.3 测试得到的每个包长的吞吐量大小，使用每个包长的吞吐量结果的 90 %作为时延测试的流量大小，测试时间 30 秒，记录平均时延，时延平均值应小于 50 ms，丢包率应小于 0.01 %；
- d) 按不同帧长度测得的吞吐量结果的 90 %发起上行灌包业务，测试下行控制业务时延，99.99 %的时延应小于 100 ms。

6.4.5 发射功率测试

按 YD/T 3930—2024 中 10.2.2 的规定进行。

6.4.6 无线覆盖半径检验

无线覆盖半径检验采用 OTA 暗室测试、地面空旷无遮挡条件下测试或煤矿井下无线覆盖距离的方式。

——OTA 暗室测试方法：

- a) 终端、基站及天线共同放置于 OTA 暗室中，终端入网，发起上行满灌包业务并保持；
- b) 计算基站中心频点在无线覆盖半径时对应的理论空气损耗值，终端输入输出天线端口分别增加射频衰减器，当衰减器增加到理论空气损耗值时，测量终端上行吞吐量是否大于等于表 3 中规定的边缘速率，当上行吞吐量大于等于边缘速率时，无线覆盖半径满足要求。

——地面空旷无遮挡条件下距离测试方法：

- a) 应选择长度满足无线覆盖最远距离的开阔场地，场地内不应有相对于地面高于 0.5 m 的遮挡物。场地环境噪声场强值在系统工作频率范围内低于 30 dB μ V/m；
- b) 在场地布设基站，天线按正常使用高度架设，终端位于覆盖范围最大距离处。在最大距离处测试终端与基站传输速率，应不小于 5.6.10 的要求。

——煤矿井下无线覆盖距离试验方法：

- a) 在井下大巷中选择左右可视距离满足表 3 要求距离的基站作为测试点；
- b) 在巷道中间布设基站，天线按正常使用高度架设，终端位于覆盖范围最大距离处。在最大距离处测试终端与基站传输速率，应不小于 5.6.10 的要求。

6.4.7 有线传输距离检验

有线传输距离测试方法如下：

- a) 基站与基站控制器之间，用 10 km 光纤或 1 台光衰减器进行连接，光衰减器模拟 10 km 光纤衰减，在网管上查看基站的在线状态应正常，并查看小区状态应正常；

- b) 基站控制器与 2 个基站之间，用 2*10 km 光纤或 2 台光衰减器以级联方式连接，模拟总长度 20 km 的光纤，在网管上查看基站的在线状态应正常，并查看小区状态应正常。

6.4.8 接收灵敏度测试

按 YD/T 3930 和 YD/T 4002 中的相关规定进行。

6.4.9 手持终端连续工作时间和电池寿命检验

将手持终端处于充满状态，开始工作并计时，通话时间不小于 2 h。手持终端停止工作，停止计时。手持终端工作时间应符合 5.6.12 的要求。

具备定位功能的手持终端工作时间和电池寿命按 AQ 6210-2007 中 6.8.11 和 6.8.10 的规定测试。

6.4.10 系统设备备用电源工作时间检验

使备用电源处于充满状态，停止基站、基站控制器及传输设备外部电源供给，查看基站、基站控制器及传输设备在备用电源下连续工作应不小于 4 h。

6.4.11 定位精度试验

按 AQ 2051 的有关规定进行。并进行下述测试：

- 测试终端保持在网状态，采用合并小区组网；
- 在测试场地内标记 3 个测试点位，每个点位距离 10 米；
- 在定位功能的基站定位服务区域内，以最大并发数量的终端设备，以最大位移速度通过基站定位区域，同时终端下行连续 Ping 包，包大小 100 Bytes/次，发包间隔 25 ms；
- 测试终端在选取的测试点，基站触发定位，计算并输出定位位置的数值，在同一个测试点反复测试 100 次，与实际测量位置对比，得到定位精度误差；
- 依次遍历每个样本点并进行数据记录。

6.5 电源波动适应能力试验

按 MT/T 772-1998 第 11 章中的有关规定进行。

6.6 外壳防护性能试验

按 GB/T 4208 的有关规定进行。

6.7 工作稳定性试验

按 MT/T 772-1998 第 10 章中的有关规定进行，试验中的测量时间间隔应不大于 24 h。

6.8 电磁兼容性能试验

6.8.1 发射限值试验

发射限值按照 GB 4824 的规定进行。

6.8.2 抗干扰试验

抗干扰试验方法如下：

- 静电放电抗扰度试验按 GB/T 17626.2 的规定进行；
- 射频电磁场辐射抗扰度试验按 GB/T 17626.3 的规定进行；
- 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验按 GB/T 17626.4 和 GB/T 17799.2 的规定进行；
- 浪涌（冲击）抗扰度试验按 GB/T 17626.5 和 GB/T 17799.2 的规定进行；
- 射频场感应的传导骚扰抗扰度试验按 GB/T 17626.6 的规定进行；
- 工频磁场抗扰度试验按 GB/T 17626.8 的规定进行；
- 交流端口电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验按 GB/T 17626.11 的规定进行；
- 直流端口电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验按 GB/T 17626.29 的规定进行。

6.9 可靠性试验

按GB/T 5080.7的有关规定进行，采用定时截尾试验方案。失效判定应符合GB/T 5080.1—1986中9.2的有关规定。

6.10 矿用一般型性能试验

按GB/T 12173的有关规定进行。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验一般分出厂检验与型式检验两类。

7.2 出厂检验

- 7.2.1 系统应进行出厂检验，合格产品应给予合格证。
- 7.2.2 出厂检验一般由制造厂质检部门负责进行。
- 7.2.3 检验项目应符合表5中出厂检验项目的规定。
- 7.2.4 出厂检验的各项性能和指标应符合本文件的规定，否则按不合格处理。

7.3 型式检验

- 7.3.1 在下列情况之一时，应进行型式检验：
 - 新产品或老产品转厂定型时；
 - 正式生产后，系统中设备或系统组成有较大变化，可能影响系统性能时；
 - 正常生产时每5年1次；
 - 停产1年恢复生产时；
 - 国家有关部门提出进行型式检验时。
- 7.3.2 检验项目应符合表5中的型式检验项目的规定。
- 7.3.3 按照GB/T 10111规定的方法，在出厂检验合格的产品中抽取受试系统的各组成设备。样品数量应满足试验要求。

表5 检验项目表

检验项目	技术要求	试验方法	出厂检验	型式检验
基本功能	5.5	6.3	○	○
无线信号制式	5.6.1	6.4.1	—	○
工作模式	5.6.2	6.4.2	○	○
工作频段	5.6.3	6.4.1	—	○
吞吐率	5.6.4	6.4.3	○	○
平均时延	5.6.5	6.4.4	○	○
端到端时延稳定性	5.6.6	6.4.4	○	○
丢包率	5.6.7	6.4.4	○	○
双机切换时间	5.6.8	6.3.9	○	○
射频发射功率	5.6.9	6.4.5	—	○
无线覆盖半径	5.6.10	6.4.6	—	○
有线传输距离	5.6.11	6.4.7	—	○
接收灵敏度	5.6.12	6.4.8	○	○
手持终端连续工作时间和通话时间	5.6.13	6.4.9	○	○
系统设备备用电源工作时间	5.6.14	6.4.10	○	○
定位精度	5.6.15	6.4.11	○	○
电源波动适应能力	5.7	6.5	—	○
外壳防护性能	5.8	6.6	—	○
工作稳定性	5.9	6.7	○	○
电磁兼容性能	5.10	6.8	—	○
可靠性	5.11	6.9	—	○
矿用一般型性能	5.12	6.10	—	○

检验项目	技术要求	试验方法	出厂检验	型式检验
注：“○”为必须进行的检验项目，“—”表示不需要进行检验的项目。				

附录 A
(资料性)
金属非金属地下矿山应用场景的 5G 业务需求

A.1 井下生产工作面远程控制业务场景

A.1.1 场景描述

基于5G网络大带宽、广链接、低延时的特性，通过5G网络远程控制锚杆（索）台车、凿岩台车、铲运车、耙车、破碎锤、放矿机、皮带运输机等生产设备，实现凿岩、装药、撬毛、支护、铲装、运输等生产工艺过程利用5G网络下发生产指令，结合机器学习、自动控制、物联网、大数据等先进技术，以“数据流”赋能“矿石流”，实现井下矿石开采运输流程“智慧化”。应场景的5G应用可减少井下作业人员，提高井下作业生产效率。

A.1.2 业务需求

井下生产工作面远程控制业务场景对5G网络的业务需求如下：

- a) 5G 网络应支持井下设备的状态信息的实时回传和查询；
- b) 5G 网络应支持井上控制室操控平台对井下设备远程控制类业务的低时传输；
- c) 5G 网络应支持当异常情况突然出现时将报警信息回传。

A.2 井下 AI 高清视频监视业务场景

A.2.1 场景描述

井下AI视频智能监控系统，做到“无视频不作业”。建议利用带有5G通信模组的头灯或其他采集设备，使用5G网络对重点区域设备运行状态和人员综合状态进行检测，实现对井下设备异常工况、人员三违行为识别（违章指挥、违章作业、违反劳动纪律）、异物识别等场景的隐患感知和预警，从而达到对矿山作业人员行为、物的状态、设备运行状态的智能监管。鼓励有条件矿山部署智能单兵装备（如智能矿灯、便携式执法记录仪、智能手环、智能手表）、巡检机器人等，推动矿井安全生产由人防向技防转变。

A.2.2 业务需求

井下AI高清视频监测业务场景对5G网络的业务需求如下：

- a) 5G 网络应支持井下大容量的视频回传。
- b) 5G 网络应支持人员违规作业等安全类行为识别视频数据的传输；
- c) 5G 网络应支持当异常情况突然出现时将报警信息传输至平台；
- d) 5G 网络应支持统一调度平台对井下人员告警信息的传输；
- e) 5G 网络应支持多类井下设备信息的数据传输功能，井下设备信息包括多种传感器、网关、交换机等多种设备的数据信息。

A.3 井下设备传感监控业务场景

A.3.1 场景描述

井下设备采集业务场景利用5G网络广连接、高带宽的特性，对井下固定设备的设备信息及运行状态检测，对移动装备的位置、状态、安全情况进行状态感知，然后将采集的数据信息上传到数据处理平台，并支持平台或者控制系统使用5G网络对井下信息采集类设备进行命令控制，需要用5G能力满足井下设备采集业务场景的需求。

A.3.2 业务需求

井下设备采集业务场景对5G网络的业务需求如下：

- a) 5G 网络应支持多类井下设备信息的数据传输功能，井下设备信息包括多种传感器、网关、交换机等多种设备的数据信息；
- b) 5G 网络应支持对井下固定设备的状态，对井下移动装备的位置、状态、安全等感知数据以及智能调度命令的传输；

- c) 5G 网络应支持网络设备运行状态，应支持新旧网络设备发生替换时数据和控制命令的传输；
- d) 5G 网络宜支持井下设备预防检测和控制服务，对井下设备参数、运行状态的综合分析，增加井下设备批量操作、故障急速定位处理、保障日常运维操作。

A.4 音视频通话业务场景

A.4.1 场景描述

在日常的工作中，井下工人可以使用矿用手持设备或信息矿灯发起音视频通话，与地面指挥中心、其他工作队伍进行实时交流，对复杂、困难的工作环节进行协同作业，提高工作效率，确保工作安全。在井下发生意外时，井下工人可以通过音视频通话，将现场情况实时传递至地面，救援队伍可据此快速做出响应和决策，提高救援效率。

A.4.2 业务需求

井下音视频通话业务场景对5G网络的业务需求如下：

- a) 5G 网络应支持矿用手持终端设备或信息矿灯的语音通话和视频实时通话；
- b) 5G 网络宜支持 LTE 手持终端的接入和音视频通话。

A.5 运输车辆自动驾驶业务场景

A.5.1 场景描述

运输车辆自动驾驶是对运输车辆如有轨电机车、无轨胶轮车等进行线控改造，装备5G通信模块、高精定位及环境感知系统，借助自动驾驶算法使运输车辆能够完成循迹行驶、障碍物识别、会车避让、自主装卸料等操作，提升运输效率。车辆配备的传感器能够在低光照、多粉尘的恶劣环境下，清晰感知周围环境信息，准确识别巷道中的轨道状况、岔口位置以及障碍物。在行驶过程中，遇到岔口时，车辆能够自动控制道岔切换，准确驶向目标路线。当接近卸载站时，系统会自动控制车辆减速并精准停靠，实现自动卸载作业。

A.5.2 业务需求

井下运输车辆自动驾驶业务场景对5G网络的业务需求如下：

- a) 5G 网络宜采用高可靠、抗灾性强的组网方式，如核心网热备、双发选收、切片技术等；
- b) 5G 网络应支持运输车辆的运行状态、行车轨迹等信息的上报；
- c) 5G 网络应支持运输车辆的远程应急接管，由远程调度室的操作员通过 5G 网络远程遥控驾驶舱，保障车辆正常运行。

A.6 人员定位与安全预警场景

A.6.1 场景描述

井下作业人员佩戴 5G 定位标签，结合 UWB 或蓝牙信标实现亚米级实时定位。系统实时监测人员位置、运动轨迹，并关联瓦斯浓度、顶板压力等环境数据。当出现异常时（如进入危险区域、设备故障），系统自动触发声光报警并推送撤离路线至人员终端。

A.6.2 业务需求

井下运输车辆自动驾驶业务场景对5G网络的业务需求如下：

- a) 5G 网络应支持人员状态数据、历史轨迹回溯与电子围栏管理的信息数据上传；
- b) 5G 网络应支持 VoNR 语音通话与群组广播，在网络拥塞时优先保障应急指令通道。

A.7 井下通风系统监测控制业务场景

A.7.1 场景描述

通风系统是保障安全生产的“生命线”，关乎井下空气质量与人员生命安全。为确保通风系统稳定、高效运行，各类监测设备如同“健康监测仪”，被部署在通风巷道、风机房、工作面等关键位置。

风速传感器实时监测各巷道的风流速度，风压传感器精准测量通风系统的压力变化，气体浓度传感器则持续检测一氧化碳、硫化氢、氧气等有害及关键气体的浓度。

这些传感器采集到的海量数据，通过 5G 网络广连接、高带宽的特性，以毫秒级速度传输至地面中央控制系统。同时，井下的通风机、风门等设备也与 5G 网络相连，实现远程可控。一旦系统检测到某区域风速异常降低、有害气体浓度超标，或是通风设备出现故障，中央控制系统立即依据预设算法，通过 5G 网络向相关设备发送指令，自动调节通风机转速、控制风门开合，优化通风网络。

A.7.2 业务需求

井下通风系统监测控制业务场景对5G网络的业务需求如下：

- a) 5G 网络应支持通风监测传感器的数据稳定传输，不出现数据丢失或漏传现象；
- b) 5G 网络应提供充足的带宽，满足通风系统运行状态高清视频监控画面、复杂数据信息的实时传输需求，使地面人员能清晰掌握井下通风状况；
- c) 5G 网络应支持中央控制系统对井下通风设备控制指令的低时延、高可靠传输，确保通风设备能迅速响应指令，实现精准调控。

A.8 井下巡检机器人业务场景

A.8.1 场景描述

巡检机器人依据预先规划的巡检路线，沿着巷道、设备作业区等区域自主移动。激光雷达构建三维环境地图，帮助机器人精准定位与避障；高清摄像头实时拍摄设备外观、运行状态；振动传感器监测设备的振动频率，判断设备是否存在异常磨损或故障隐患；气体检测仪则对一氧化碳、甲烷等有害气体浓度进行实时监测。在巡检过程中，机器人将采集到的图像、设备参数、环境数据等信息，借助 5G 网络低时延、高带宽、广连接的特性，实时传输至地面监控中心。

A.8.2 业务需求

井下巡检机器人业务场景对5G网络的业务需求如下：

- a) 5G 网络应具备低时延特性，保证地面监控中心对巡检机器人的控制指令能够即时传输，使机器人快速响应操作，实现精准移动和任务执行，避免因延迟导致机器人运行失误；
 - b) 5G 网络应支持巡检机器人与地面监控中心之间的双向高速数据传输，方便监控人员根据实时数据灵活调整巡检任务和路线，同时机器人也能及时反馈执行情况；
 - c) 5G 网络应具备强大的抗干扰能力，在井下复杂的电磁环境和多粉尘、潮湿的物理环境中，确保 5G 网络通信稳定，维持巡检机器人与监控中心的可靠连接，保障巡检工作顺利进行；
 - d) 5G 网络应保障巡检机器人在不同作业区域移动过程中，5G 网络信号无缝切换，数据传输不中断，确保巡检工作的连续性和完整性。
-