

中华人民共和国矿山安全行业标准

KA 32—2026

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

2026-01-25 发布

2026-05-01 实施

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 技术要求	3
5.1 一般要求	3
5.2 环境要求	3
5.3 供电电源	3
5.4 基本功能	4
5.5 主要技术指标	4
5.6 电源波动适应能力	6
5.7 外壳防护性能	6
5.8 工作稳定性	6
5.9 电磁兼容性能	6
5.10 可靠性	7
5.11 矿用一般型性能	7
6 试验方法	7
6.1 试验条件	7
6.2 受试系统的连接与测试准备	8
6.3 基本功能试验	9
6.4 主要技术指标试验	12
6.5 电源波动适应能力试验	14
6.6 外壳防护性能试验	14
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	15
7 现场使用与维护管理	15
8 检验规则	15
8.1 检验分类	15
8.2 出厂检验	15
8.3 型式检验	16
附录 A (资料性) 金属非金属地下矿山 5G 通信系统架构及业务场景	17
A.1 系统架构	17
A.2 井下采场远程控制业务场景	17

A.3 井下高清视频监控业务场景	18
A.4 井下设备信息采集业务场景	18
A.5 井下音视频通话业务场景	18
A.6 井下运输车辆自动驾驶业务场景	19
A.7 人员定位与安全预警场景	19
A.8 井下巡检机器人业务场景	19
参考文献	21

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信息与智能化分技术委员会归口。

本文件起草单位：安标国家矿用产品安全标志中心有限公司、华为技术有限公司、攀钢集团有限公司、中国联合网络通信有限公司、中兴通讯股份有限公司、广西华锡有色金属股份有限公司、中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司、大唐移动通信设备有限公司、煤炭科学技术研究院有限公司、长沙矿山研究院有限责任公司、中煤科工集团常州研究院有限公司、重庆安标检测研究院有限公司、中国安全生产科学研究院、宇祺智能装备有限公司、上海山源电子科技股份有限公司、北斗天地股份有限公司。

本文件主要起草人：孟积渐、齐飞、黎一冰、张宇、查希平、吴乐文、郭子文、刘允秋、王树立、曹相春、李晨鑫、张勇、梁龙、孟玮、张银、褚衍玉、韩竹梅、梁宏、郑小磊、丁建宽、谭斌、景杰、彭继国。

本文件为首次发布。

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 通信系统的设计、制造和检测检验。

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 8702—2014 电磁环境控制限值

GB/T 10111 随机数的产生及其在产品质量抽样检验中的应用程序

GB/T 12173 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 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度

GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

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 6210—2007 煤矿井下作业人员管理系统通用技术条件

KA/T 2051 金属非金属地下矿山人员定位系统通用技术要求

KA/T 2080 金属非金属地下矿山在用人员定位系统安全检测检验规范

MT/T 772 煤矿监控系统主要性能测试方法

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

金属非金属地下矿山 5G 通信系统 5G communication system in underground metal and nonmetal mines

部署于地面及金属非金属地下矿山,基于 5G 通信技术,采用无线传输或无线与有线传输相结合的方式,支持地下矿山无线接入与数据传输的专用通信系统。一般由 5G 通信核心网、传输设备、5G 通信基站控制器、5G 通信基站汇集器、5G 通信基站和 5G 通信终端等设备组成。

3.2

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]

3.3

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]

3.4

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]

3.5

基站控制器 baseband controller

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

3.6

吞吐量 throughput

单位时间内成功处理的数据量或任务数,是衡量系统处理能力的核心指标,反映系统的承载能力和效率。

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)

FDD:频分双工(Frequency Division Duplexing)

IP:互联网协议(Internet Protocol)

LTE:长期演进技术(Long-Term Evolution)

OTA:空中下载技术(Over The Air)

RedCap:轻量化(Reduced Capability)

SA:独立组网(Standalone)

SUL:辅助上行(Supplementary Uplink)

TDD:时分双工(Time Division Duplexing)

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 金属非金属地下矿山 5G 通信系统(以下简称“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,并按照规定的程序批准的图样和技术文件制造和成套。系统架构及业务场景见附录 A。

5.1.2 系统应具有防雷电保护,入井电缆和含金属光缆在入井口处采取防雷措施。

5.1.3 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电信设备安全规范,并提供相应证明材料。

5.1.4 系统应部署独立的 5G 通信核心网(以下简称“核心网”),或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)。

5.1.5 系统中的 5G 通信基站控制器(以下简称“基站控制器”)、5G 通信基站汇集器(以下简称“基站汇集器”)与 5G 通信基站(以下简称“基站”)一体化集成时,一体化基站应满足基站的要求。

5.1.6 在含硫或含卤等腐蚀性介质环境中使用的设备,应具备相应的防腐蚀措施。

5.1.7 井下爆破器材库、油库等具有爆炸危险环境中使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。

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%~+10%;
- b) 电压总谐波畸变率:不大于 5%;
- c) 频率:50 Hz,允许偏差±5%。

5.3.2 地面设备直流电源应满足下列要求:

- a) 额定电压:-48 V,允许偏差-20%~+20%;
- b) 周期与随机偏移(峰-峰值)不大于 250 mV。

5.3.3 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%~+10%;
- b) 电压总谐波畸变率:不大于 10%;
- c) 频率:50 Hz,允许偏差±5%。

5.3.4 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)不大于 250 mV。

5.4 基本功能

5.4.1 系统应支持多种类型 5G 通信终端(以下简称“终端”)的接入,终端类型如手机、视频摄像头和 CPE 等。

5.4.2 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。

5.4.3 系统应具有支持金属非金属地下矿山视频实时传输功能。

5.4.4 系统应具有支持金属非金属地下矿山 5G 设备的视频回传和远程控制的功能。

5.4.5 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。

5.4.6 系统应具有支持语音通话、视频通话及短信收发功能。

5.4.7 当系统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时,系统功能与技术指标应符合 KA/T 2051 的要求。

5.4.8 系统应支持端到端网络切片功能,为不同业务提供差异化的切片资源分配。

5.4.9 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。

5.4.10 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。

5.4.11 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。

5.4.12 系统应有操作权限分级管理功能,参数设置等操作应使用密码操作,并保留操作记录。

5.5 主要技术指标

5.5.1 无线信号制式

系统应支持 5G NR 制式。具备制式融合功能的系统,至少应支持 5G NR 和 LTE 两种制式同时工作。

5.5.2 工作模式

系统应支持独立组网(SA)。

5.5.3 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 GHz、2.1 GHz、2.6 GHz、3.3 GHz、3.4 GHz、3.5 GHz、4.9 GHz、6 GHz 等,准许选取其他频段。

5.5.4 吞吐量

单用户的上行和下行峰值吞吐量应满足表 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)

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
FDD	2×10 MHz	2T4R/2T2R	55 Mbps	110 Mbps
FDD	2×20 MHz	2T4R/2T2R	110 Mbps	225 Mbps
FDD	2×30 MHz	2T4R/2T2R	175 Mbps	350 Mbps
FDD SUL(如有)	2×30 MHz	2T4R/2T2R	350 Mbps	225 Mbps

5.5.5 平均时延

系统平均时延应不高于 20 ms。

5.5.6 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%。

5.5.7 丢包率

单用户的丢包率不大于 0.01%。

5.5.8 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。

5.5.9 射频发射功率

基站和终端应进行最大射频输出功率测试,基站和终端的最大射频输出功率应符合 GB 8702—2014 第 4 章的规定。超出标准规定时,应具有不影响人体安全的保障措施。基站和终端应具备通过硬件确保发射功率不超过预设安全范围的功能。

5.5.10 无线覆盖半径

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。

5.5.11 有线传输距离

基站到基站控制器的有线传输距离不小于 10 km。

5.5.12 接收灵敏度

终端接收灵敏度不大于 -78.5 dBm,基站接收灵敏度不大于 -93 dBm。

5.5.13 手持终端工作时间和电池寿命

5.5.13.1 手持终端工作时间应不小于 11 h,其中,通话时间应不小于 2 h。

5.5.13.2 具备定位功能的手持终端,应保证手持终端连续工作时间不小于 7 天。

5.5.13.3 具备定位功能的手持终端,电池寿命应满足如下要求:

a) 不可更换电池的手持终端,其电池寿命应不小于 2 年;

b) 可更换电池的手持终端,其电池寿命应不小于 6 个月。

5.5.14 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。

5.5.15 定位精度

具备定位功能的系统,在满足 KA/T 2051 要求的前提下,定位精度为 3 m~ 10 m,置信区间为 90% 。

5.6 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 5.4、5.5.1~5.5.7、5.5.10、5.5.11 的规定。

5.7 外壳防护性能

系统井下设备外壳防护等级应不低于 IP54。

5.8 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 天,其主要功能和主要技术指标应满足 5.4、5.5.1~5.5.7、5.5.11 的规定。

5.9 电磁兼容性能

5.9.1 发射限值

5.9.1.1 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 2 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 $\pm 5\%$ 。

5.9.1.2 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 2 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 ± 2.5 倍受试设备支持的最大信道带宽。

5.9.2 抗扰度

5.9.2.1 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。试验中及试验后系统功能与性能正常,评价等级为 B。

注：本部分所述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。

5.9.2.2 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，频率范围为 80 MHz~6 000 MHz 时，电场强度为 3 V/m，使用 1 kHz 80% 幅度调制，步进 1%，驻留时间 1 s，对样品进行四面照射。试验中及试验后系统功能与性能正常，评价等级为 A。

5.9.2.3 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。试验中及试验后系统功能与性能正常，评价等级为 A。

注：本条款不适用于仅由电池供电的端口，同时不适用于规定长度小于 3 m 的电缆固定连接的信号端口。

5.9.2.4 系统交流电源端口应能通过 GB/T 17626.5 规定的严酷等级为 2 级的浪涌（冲击）抗扰度试验；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。试验中系统可出现异常，试验后不经人为干预系统功能和性能可自动恢复正常，评价等级为 B。

注：本条款不适用于仅由电池供电的端口，同时不适用于规定长度小于 10 m 的电缆固定连接的直流电源端口和信号端口。

5.9.2.5 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 2 级的射频场感应的传导骚扰抗扰度试验。试验中及试验后系统功能与性能正常，评价等级为 A。

注：本条款不适用于仅由电池供电的端口，同时不适用于规定长度小于 3 m 的电缆固定连接的信号端口。

5.9.2.6 系统外壳端口应能通过 GB/T 17626.8 规定的稳定持续磁场严酷等级为 3 级，短时试验等级为 4 级的工频磁场抗扰度试验。试验中及试验后系统功能与性能正常，评价等级为 A。

5.10 可靠性

系统设备的平均无故障时间(MTBF)应不小于 40 000 h。

5.11 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

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

测试用电源应符合以下要求：

- a) 交流供电电源：
 - 电压误差： $\leq 2\%$ ；
 - 频率：50 Hz，其误差应不大于 1%；
 - 谐波失真系数： $\leq 5\%$ 。
- b) 直流供电电源：
 - 电压误差： $\leq 2\%$ ；

——周期与随机偏移： $\Delta U/U_0 \leq 0.1\%$ (ΔU 为周期与随机偏移的峰到峰值， U_0 为直流供电电压额定值)。

6.1.3 试验仪器和设备一般要求

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；
- b) 试验仪器和设备应检定或校准合格；
- c) 试验仪器和设备的配置应不影响测量结果；
- d) 试验仪器和设备的数量应根据实际测试需要进行配置。

6.1.4 主要试验仪器设备

主要试验仪器和设备包含：

- a) 5G 信号源；
- b) 5G 频谱分析仪；
- c) 5G 无线通信综合测试仪；
- d) 网络测试仪；
- e) 射频信号衰减器；
- f) 光功率计；
- g) 光衰减器；
- h) 万用表；
- i) 激光测距仪或全站仪；
- j) 专网综测仪服务器或服务端软件；
- k) 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，系统测试应至少具备下列设备：

- a) 网管、核心网和基站控制器 1 套，可根据具体情况适当增减设备；
- 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，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 1 所示。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矿山的模拟业务测试；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矿山的模拟业务测试。

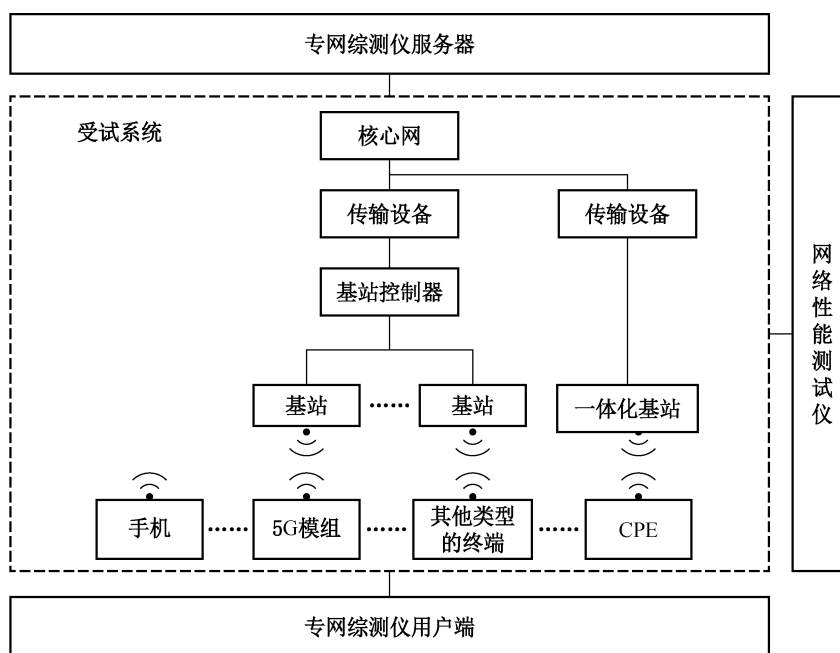


图 1 受试系统连接图

6.2.3 受试系统的测试准备

受试系统的测试准备如下：

- 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；
- 测试终端支持通过 Web 页面或相关工具查看 RSRP、SINR 信息；
- 测试服务器通过有线方式连接 5G 网络，配置 5G 网络有效 IP；
- 测试工具通过有线方式连接 5G 终端，配置 5G 网络有效 IP；
- 切片测试时，5G 网络需开启切片特性和配置切片关键参数；
- 依据 RSRP 和 SINR 确定测试点：5G 网络的近点 $RSRP \geq -75$ dBm, $SINR \geq 20$ dB；5G 网络的中点 $RSRP \geq -85$ dBm, $SINR \geq 10$ dB；5G 网络的远点 $RSRP \geq -105$ dBm, $SINR \geq 0$ dB。

6.2.4 受试系统连通性测试

受试系统连通性测试方法如下：

- 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；
- 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，包大小为 100 Bytes/次，发包间隔为 1 s，共进行 10 次；
- 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，包大小为 100 Bytes/次，发包间隔为 1 s，共进行 10 次；
- 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 远程实时视频传输功能试验

远程实时视频传输功能试验方法如下:

- a) 在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,分辨率为 1920×1080 P,码率上限为 2 Mbps,接收缓存不小于 1 s,在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,查看测试服务器上的视频,应流畅无卡顿和花屏。

6.3.4 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) 将测试终端置于 5G 网络的远点;
- b) 上行视频播放,在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,分辨率为 1920×1080 P,码率为 2 Mbps,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,包大小为 100 Bytes/次,发包间隔为 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;
- e) 下行控制命令,丢包不超过 2 次。

6.3.5 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,Ping 包间隔为 100 ms;
- 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。

6.3.6 人员、车辆和设备的实时定位功能试验

按 KA/T 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,包大小为 100 Bytes/次,发包间隔为 25 ms;
- c) 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的移动而变化。

6.3.7 网络切片功能试验

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 的视频速率是否下降和视频是否卡顿；
- 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 的视频速率是否无下降,视频是否流畅、无卡顿和花屏。

6.3.8 终端认证、检查和限制非授权终端接入系统的功能试验

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,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,测试终端应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及双机切换时间试验

6.3.9.1 核心网双设备冗余保护采用热容灾备份功能时,试验方法如下：

- 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 发起语音呼叫(或语音 Ping 包),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 仍持续进行语音呼叫(或语音 Ping 包),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。

6.3.9.2 核心网双设备冗余保护采用冷容灾备份功能时,试验方法如下：

- 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 设备管理及操作权限分级功能试验

5G 设备管理功能试验方法如下：

- a) 将系统设备接入网管,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；
- d) 查看系统操作权限,网管应可对用户配置分级管理权限,参数设置需使用登录密码操作,且具有操作记录。

6.4 主要技术指标试验

6.4.1 无线信号制式和工作频段试验

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)挡位,通过射频电缆连接基站,观察 5G 信号分析仪能否正确解调 5G NR 信号,并结合波形图、星座图和 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 工作模式试验

系统支持独立组网(SA)按照图 2 进行评定。

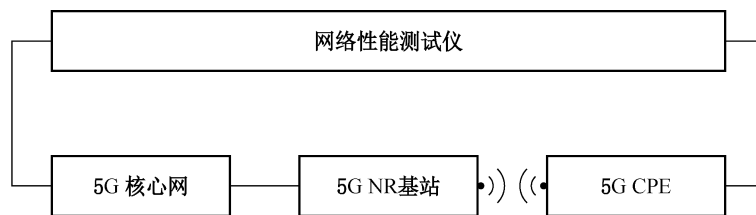


图 2 SA 组网架构示意图

评定方式如下：

- 核查系统组成与系统构架图的一致性；
- 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,核实系统是否为 5G 通信系统；
- 通过以上对系统组网方式进行综合判定。

6.4.3 吞吐量试验

吞吐量试验方法如下：

- 将基站、CPE 终端设备与网络性能测试仪通过网络方式相连,CPE 终端设备正常注册上线；
- 配置网络性能测试仪；
- 按不同帧长度(64 Bytes, 128 Bytes, 256 Bytes, 512 Bytes, 1 024 Bytes, 1 280 Bytes, 1 518 Bytes)分别对上行和下行进行吞吐量测试,丢包率不大于 0.01%,测试时间为 30 s,吞吐量取最大值；
- 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 时延及稳定性、丢包率试验

系统平均时延及端到端时延稳定性、丢包率试验方法如下：

- 将基站、CPE 终端设备与网络性能测试仪相连,CPE 终端设备正常注册上线；
- 配置网络性能测试仪；
- 按不同帧长度(64 Bytes, 128 Bytes, 256 Bytes, 512 Bytes, 1 024 Bytes, 1 280 Bytes, 1 518 Bytes)发起上行业务,吞吐量大小为 20 Mbps；
- 专网综测仪服务器向 CPE 终端设备发起 30 万次 Ping 包,使用软件进行测试时,需设置包大小为 100 Bytes/次,发包间隔为 25 ms；
- 统计上下行流量,平均时延应小于 20 ms；

f) 统计下行时延稳定性是 99.99% 的时延应小于 100 ms, 丢包率应小于 0.01%。

6.4.5 射频发射功率试验

射频发射功率试验方法如下:

- a) 基站最大射频输出功率试验: 连接外部电源、稳压电源、基站控制器、基站、终端(如适用)及 5G 核心网(如适用), 并确保基站和终端工作模式已正确设置(基站配置为 NR-FR1-TM1.1 测试模式), 确认射频端口能够输出最大射频功率。将接收机信道设置为与基站和终端工作频段一致, 并通过同轴电缆将基站射频端口与接收机连接。通过接收机读取基站的射频输出功率 P 。在测试过程中, 同轴电缆应进行线损标定; 若使用衰减器, 其衰减值亦应经过标定。接收机测得的射频输出功率需对同轴电缆的线损和衰减器的衰减值进行补偿, 以确保得到精确的读数。
- b) 终端最大射频输出功率试验: 终端放置于 OTA 暗室或射频屏蔽箱中, 将终端与无线通信综合测试仪通过空口连接, 无线通信综合测试仪设置终端处于最大发射功率状态, 测试终端最大射频输出功率。
- c) 基站和终端测得的最大射频输出功率应符合 GB 8702—2014 第 4 章的规定。超出标准规定时, 应提供不影响人体安全的保障措施及证明材料。

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距离测试或井下无线覆盖距离测试的方式。具体测试方法如下:

——OTA 暗室试验方法

- 1) 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;
- 2) 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不小于表 3 中规定的边缘速率, 当上行吞吐量不小于边缘速率时, 无线覆盖半径满足要求。

——地面空旷无遮挡条件下距离试验方法

- 1) 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 $30 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 。
- 2) 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。在最大距离处测量终端上行吞吐量是否不小于表 3 中规定的边缘速率, 当上行吞吐量不小于边缘速率时, 无线覆盖半径满足要求。

——井下无线覆盖距离试验方法

- 1) 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;
- 2) 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。在最大距离处测量终端上行吞吐量是否不小于表 3 中规定的边缘速率, 当上行吞吐量不小于边缘速率时, 无线覆盖半径满足要求。

6.4.7 有线传输距离试验

有线传输距离试验方法如下:

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

6.4.8 接收灵敏度试验

基站接收灵敏度:正确连接外部电源、稳压电源、基站控制器及5G核心网(如适用),并确保基站工作在NR-FR1-TM1.1测试模式。启动信号发生器或模拟终端发射信号到与基站相同信道,设置有用信号发生器或模拟终端功率为-93 dBm,测试吞吐量应不小于参考测试信道最大吞吐量的95%。

终端接收灵敏度:终端放置于OTA暗室或射频屏蔽箱中,将终端与无线通信综合测试仪通过空口连接,降低无线通信综合测试仪发射功率,同时测试丢包率,当丢包率不大于5%时,无线通信综合测试仪发射功率即为终端接收灵敏度。

6.4.9 手持终端工作时间和电池寿命试验

6.4.9.1 手持终端工作时间试验

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。手持终端停止工作时,停止计时。手持终端工作时间应不小于11 h。

6.4.9.2 手持终端工作时间试验

具备定位功能的手持终端工作时间按AQ 6210—2007中6.8.11的规定测试。

6.4.9.3 手持终端电池寿命试验

具备定位功能的手持终端电池寿命按AQ 6210—2007中6.8.10的规定测试。

6.4.10 系统设备备用电源工作时间试验

使备用电源处于充满状态,断开基站、基站控制器及传输设备外部电源供给,基站、基站控制器及传输设备处于正常工作状态,从备用电源投入起开始计时,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KA/T 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) 在测试场地内标记3个测试点位,每个点位之间距离为10 m;
- c) 在基站定位服务区域内,以最大并发终端设备数量、最大位移速度通过基站定位区域,同时终端下行连续Ping包,包大小为100 Bytes/次,发包间隔为25 ms;
- d) 测试终端在测试点时,由基站触发定位,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;
- e) 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中电源波动适应性试验的有关规定进行。

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 中系统工作稳定性试验的有关规定进行, 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:

- a) 静电放电抗扰度试验按 GB/T 17626.2 的规定进行;
- b) 射频电磁场辐射抗扰度试验按 GB/T 17626.3 的规定进行;
- c) 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;
- d) 浪涌(冲击)抗扰度试验按 GB/T 17626.5 和 GB/T 17799.2 的规定进行;
- e) 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;
- f) 工频磁场抗扰度试验按 GB/T 17626.8 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 中的有关规定。

6.10 矿用一般型性能试验

按 GB/T 12173 的有关规定进行。

7 现场使用与维护管理

7.1 矿山应定期检查系统中电气设备的完好性。

7.2 当系统具有实时定位功能时, 在用系统与定位相关的功能和性能检测检验按 KA/T 2080 的规定进行。

7.3 矿山应定期检查系统中的终端传输速率, 在终端位置处测量终端上行吞吐量是否不小于表 3 中系统工作频段下对应业务的边缘速率。当上行吞吐量不小于边缘速率时, 终端可用于该业务。

8 检验规则

8.1 检验分类

检验一般分出厂检验与型式检验两类。

8.2 出厂检验

8.2.1 系统应进行出厂检验, 合格产品应给予合格证。

8.2.2 出厂检验一般由制造厂质检部门负责进行。

8.2.3 检验项目应符合表 4 中出厂检验项目的规定。

8.2.4 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。

8.3 型式检验

8.3.1 有下列情况之一的,应进行型式检验:

- a) 新产品或老产品转厂定型时;
- b) 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;
- c) 正常生产时每5年1次;
- d) 停产1年恢复生产时;
- e) 国家有关部门提出进行型式检验时。

8.3.2 检验项目应符合表5中的型式检验项目的规定。

8.3.3 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4 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	5.4	6.3	○	○
无线信号制式	5.5.1	6.4.1	—	○
工作模式	5.5.2	6.4.2	○	○
工作频段	5.5.3	6.4.1	—	○
吞吐量	5.5.4	6.4.3	○	○
平均时延	5.5.5	6.4.4	○	○
端到端时延稳定性	5.5.6	6.4.4	○	○
丢包率	5.5.7	6.4.4	○	○
双机切换时间	5.5.8	6.3.9	○	○
射频发射功率	5.5.9	6.4.5	—	○
无线覆盖半径	5.5.10	6.4.6	—	○
有线传输距离	5.5.11	6.4.7	—	○
接收灵敏度	5.5.12	6.4.8	○	○
手持终端工作时间和电池寿命	5.5.13	6.4.9	○	○
系统设备备用电源工作时间	5.5.14	6.4.10	○	○
定位精度	5.5.15	6.4.11	○	○
电源波动适应能力	5.6	6.5	—	○
外壳防护性能	5.7	6.6	—	○
工作稳定性	5.8	6.7	○	○
电磁兼容性能	5.9	6.8	—	○
可靠性	5.10	6.9	—	○
矿用一般型性能	5.11	6.10	—	○

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 5G 通信系统架构及业务场景

A.1 系统架构

金属非金属地下矿山 5G 通信系统架构如图 A.1 所示。

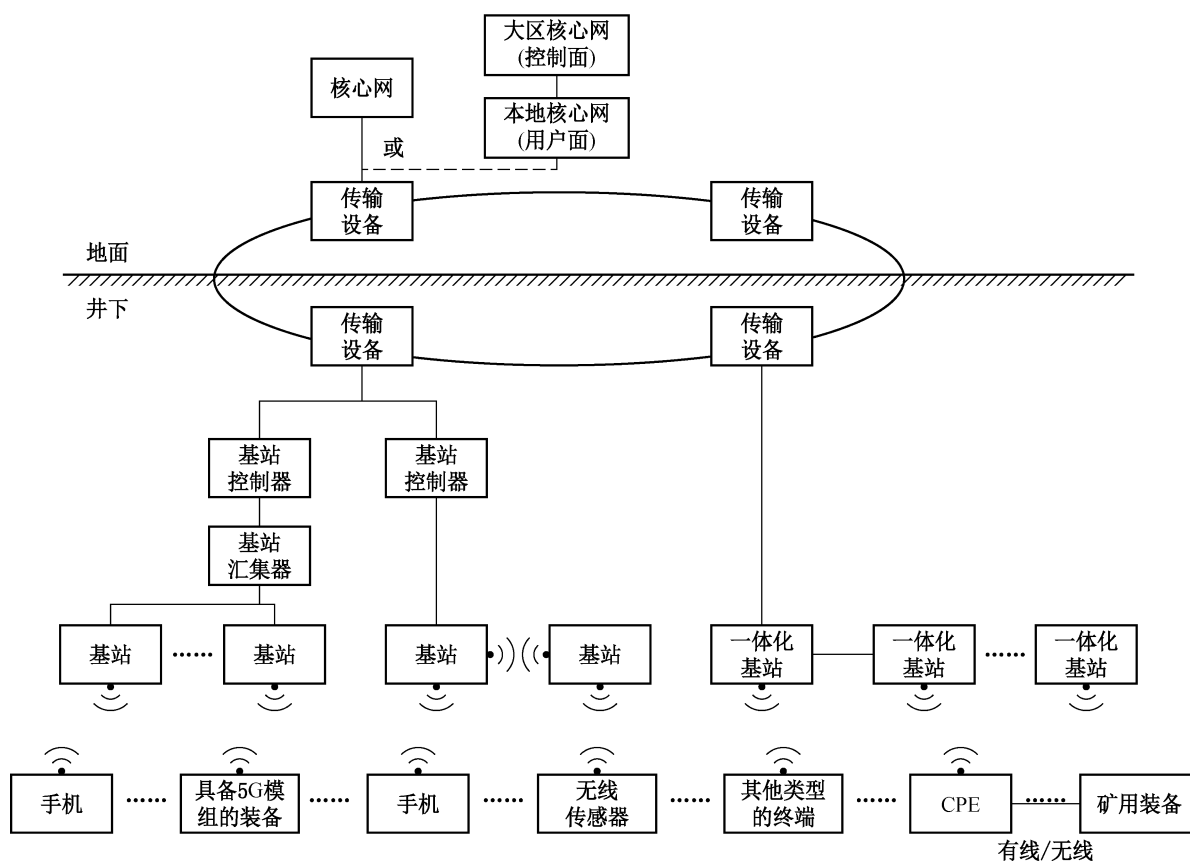


图 A.1 金属非金属地下矿山 5G 通信系统架构示意图

A.2 井下采场远程控制业务场景

A.2.1 场景描述

井下采场远程控制业务场景,是指通过 5G 网络远程控制锚杆(索)台车、凿岩台车、铲运车、耙车、破碎锤、放矿机和带式输送机生产设备,利用 5G 网络下发生产指令实现凿岩、装药、撬毛、支护、铲装和运输等生产工艺过程的作业方式,该场景需要使用 5G 的超低时延和移动宽带增强特性,需要较高的上行带宽。

A.2.2 业务需求

井下采场远程控制业务场景对 5G 网络的业务需求如下:

- a) 应支持井下设备状态信息的实时回传和查询;

- b) 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延传输；
- c) 应支持当异常情况突然出现时将报警信息回传。

A.3 井下高清视频监视业务场景

A.3.1 场景描述

井下高清视频监视业务场景,是指在井下安装高清视频监视终端、红外摄像机、带有 5G 通信模组的头灯、便携式执法记录仪或巡检机器人等,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监视,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)和异物识别等场景的隐患感知并预警,从而实现对人、移动设备之间的调控和作业流程监管。井下高清视频业务需要 5G 网络的上行大带宽和低时延特性。

A.3.2 业务需求

井下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。

A.4 井下设备信息采集业务场景

A.4.1 场景描述

井下设备信息采集业务场景,是指利用 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进行检测,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,也可按需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。

A.4.2 业务需求

井下设备信息采集业务场景对 5G 网络的业务需求如下:

- a) 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、网关和交换机等多种设备的数据信息;
- b) 应支持对井下固定设备的状态,对井下移动装备的位置、状态和安全等感知数据以及调度命令的传输;
- c) 应支持网络设备运行状态监测,并保障新旧网络设备发生替换时数据和控制命令的正常传输;
- d) 应支持井下设备预防检测和控制服务,通过对井下设备参数、运行状态进行综合分析,实现井下设备批量操作、故障快速定位处理、日常运维保障。

A.5 井下音视频通话业务场景

A.5.1 场景描述

井下音视频通话业务场景,是指在日常的工作中,井下人员可以使用矿用手持设备或信息矿灯通过 5G 网络发起音视频通话,与地面指挥中心或其他区队进行实时交流,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,井下人员可以通过 5G 网络发起音视频通话,将现场情况实时传递至地面,便于救援队伍快速做出响应和决策。

A.5.2 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和视频实时通话；
- b) 具备制式融合的 5G 网络，至少应支持 LTE 手持终端的接入和音视频通话。

A.6 井下运输车辆自动驾驶业务场景

A.6.1 场景描述

井下运输车辆自动驾驶业务场景，是指对有轨电机车、无轨胶轮车等进行线控改造，装备 5G 通信模块、高精度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、会车避让和自主装卸料等操作，提升运输效率。当运输车辆自动驾驶出现紧急情况时，应进行远程应急接管，由远程调度室的操作员通过 5G 网络远程控制遥控驾驶舱，保障运输车辆正常运行。

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) 应支持运输车辆的运行状态、行车轨迹等信息的上报；
- b) 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.7 人员定位与安全预警场景

A.7.1 场景描述

人员定位与安全预警场景，是指井下作业人员使用 5G 移动终端，通过 5G 网络对作业人员实时定位，实时监测人员位置和运动轨迹，当出现异常如进入危险区域、设备故障等时，系统自动预警并推送撤离路线至作业人员移动终端。

A.7.2 业务需求

井下人员定位与安全预警场景 5G 网络的业务需求如下：

- a) 应支持人员状态数据、历史轨迹回溯与电子围栏管理等信息的实时上传；
- b) 应支持将自动预警及撤离路线等传输至作业人员的终端。

A.8 井下巡检机器人业务场景

A.8.1 场景描述

井下巡检机器人业务场景，是指巡检机器人可沿巷道、设备作业区等区域自主移动。通过激光雷达构建三维环境地图实现精准定位与避障，利用高清摄像头实时拍摄设备外观、运行状态，借助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，并通过气体检测仪对一氧化碳、硫化氢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、设备参数和环境数据等信息，借助 5G 网络低时延、高带宽和广连接的特性，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) 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) 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) 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) 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。

参 考 文 献

- [1] GB/T 5271.1—2000 信息技术 词汇 第1部分:基本术语
 - [2] YD/T 1080—2018 数字蜂窝移动通信名词术语
 - [3] YD/T 3973—2021 5G网络切片 端到端总体技术要求
-