

安徽省工业和信息化厅
国家矿山安全监察局安徽局
安徽省自然资源厅
安徽省应急管理厅

皖工信非煤函〔2024〕87号

关于印发《安徽省非煤矿山数字化智能化
转型典型路径方案》的通知

各市工业和信息化局、自然资源和规划局、应急管理局，有关非煤矿山企业：

为更好引导我省非煤矿山数字化智能化转型，我们研究编制了《安徽省非煤矿山数字化智能化转型典型路径方案》，现印发给你们，供相关部门及非煤矿山企业在工作中参考。



安徽省工业和信息化厅



国家矿山安全监察局安徽局



安徽省自然资源厅



安徽省应急管理厅

2024年9月18日

安徽省非煤矿山数字化智能化转型 典型路径方案

一、大型露天矿山数字化智能化转型典型路径方案.....	2
二、中型露天矿山数字化智能化转型典型路径方案.....	22
三、小型露天矿山数字化智能化转型典型路径方案.....	36
四、大型地下矿山数字化智能化转型典型路径方案.....	47
五、中型地下矿山数字化智能化转型典型路径方案.....	84
六、小型地下矿山数字化智能化转型典型路径方案.....	108

一、大型露天矿山数字化智能化转型典型路径方案

1. 适用范围

本项转型路径适用于安徽省内大型非煤露天开采矿山数字化智能化建设和管理。

2. 总体框架

以大型露天矿山、选厂现状为基础，以实现矿山技术、生产、安全、管理全作业链信息化智能化为目标，智能矿山建设基本架构主要分五层，分别为感知执行层、网络传输层、数字平台层、应用开发层、运营展示层。

感知执行层负责实现各子系统数据的感知与采集，同时对执行设备下发控制指令。网络传输层由 WiFi 网络、有线接入、4G/5G/WiFi6/专线等系统组成，负责信息和数据的双向传送。数字平台层向下实现各种多源异构感知数据的接入，向上为智能矿山应用层的开发提供服务和工具。应用开发层为用户提供实际使用到的涉及矿山生产、安全、经营管理、决策分析各环节的各类操作软件及工具。运营展示层主要包括移动端、PC 端、综合展示大屏等功能，方便指挥和管理人员远程操控、精准调度。

Level5	运营展示层	移动端		PC端		大屏端	
Level4	应用开发层	地质资源	测量管理	采矿设计	智能穿孔	...	
		智能爆破	智能铲装	智能运输	边坡监测	...	
		智能监控	安全双体系	智能选厂	智慧管理	...	
Level3	数字平台层	大数据	视频	AI	IoT	GIS	融合通信
Level2	网络传输层	WiFi网络		4G/5G/WiFi6/专线		有线接入	
Level1	感知执行层	摄像头	定位装置	控制/执行设备	传感器	其他设备	

图 1 大型露天矿山数字化智能化总体架构

3. 技术要求

根据矿山不同类型及发展阶段，大型露天矿山经过 2~4 年的技术及装备改造提升，应实现装备机械化、智能化和管理信息化、数字化，在系统化、平台化方面，能够系统集成，各子系统之间能够有效兼容。

矿山应首先进行智能化矿山建设方案规划设计，然后按设计方案进行网络信息化基础设施建设，并对各子系统进行改造升级及相关软硬件设备设施的安装调试，预计建设周期 3 年左右，总资金投入在 2010 万元左右。智能化投入根据矿山的改造项目数量、矿山的规模以及系统情况有所差异。建设项目、建设内容、资金投入、建设周期如下表所示。

表 1 大型露天开采矿山数字化智能化转型路径

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
1	基础设施	通信系统设施：含有线、无线环网	硬件200万	4个月
2		数据中心与服务：含数据存储及机房	软件 80 万	
3	地质资源	地质资料数字化	硬件60万	5个月

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
4		地质管理一体化	软件110万	
5		三维地质建模		
6		资源储量估算评价与动态管理		
7		水文地质监测		
8	测量管理	测量信息采集	硬件50万 软件80万	3个月
9		测量数字化管理		
10		测量三维模型构建		
11	采矿智能设计	构建设计模型	硬件50万 软件75万	3个月
12		中长期计划、短期计划、露天爆破设计		
13		智能配矿系统开发与建设		
14		根据矿体、品位模型等数据进行计划编制		
15	智能穿孔系统	穿孔设计、信息采集	硬件100万 软件60万	4个月
16		全局监控、自动化、远程遥控控制		
17		生产任务管理		
18	智能爆破系统	智能化炮孔设计	硬件60万 软件90万	3个月
19		基于物联网及GPS定位的自动定位穿孔技术		
20		穿孔爆破工艺信息化管理系统		
22	智能铲装系统	铲装设备自动化改造（远程遥控、精准作业、异常警告）	硬件100万 软件80万	3个月
23		智能化软件系统开发		
24	智能运输系统	卡车调度系统（精准定位、无人驾驶）	硬件120万 软件95万	5个月
25		带式运输系统（远程自动化控制）		
26	选矿自动化智能化系统	破碎过程智能化操作控制	硬件200万 软件110万	6个月
27		磨矿分级过程智能化操作控制		
28		选别过程智能化操作控制		
29		浓缩脱水过程智能化操作控制		
30	智慧应急管理系统	隐蔽致灾因素普查、灾害治理	硬件70万 软件90万	5个月
31		安全监测预警系统（边坡监测、视频监控、人员定位）		
32		双重预防信息化系统		
33		矿用安全设备全生命周期监测系统		
34	矿山生产综合管控平台	实现矿山生产、安全、设备、管理等综合管控	硬件30万 软件100万	3个月

注：由于各矿山工艺特点、生产规模、开采矿种、装备应用等存在差异性，以及智能矿山技术更新迭代，表格中智能化资金投入及建设周期仅供参考，部分项目可同步进行建设。

4. 技术功能特性

(1) 基础设施

①基础网络

综合规划建设办公网、监控网、控制网及其他高速工业网络，支持数据采集、信息管理、视频监控、安全监测等信息化应用，保障数据安全可靠传输。

a.工业网

工业环网带宽：主要以矿山工业环网所承载业务及数据流量分析为基础，地表环网为千兆。

组网方式：采用环形或双环形组网技术和环间耦合技术，以实现传输链路或网络节点故障时，环网自动切换，对于时延要求高的设备可独立成环。

性能要求：网络建设具有高可靠冗余性；汇聚交换机与核心交换机实现万兆 OSPF 和线路冗余，支持三层路由功能；搭建设备监控、告警和展示平台，满足现有节点（网络设备），必须满足结合物理位置展示逻辑拓扑及连接情况，提供所需的软硬件平台，历史故障及告警信息可追溯、可查询；建设统一、高效、实时、稳定、安全的现场生产控制网络；实现主千万兆环网冗余，支路千兆网络带宽；冗余环网切换时间小于 20ms，支持冗余环间耦合。数据传输速率范围 10/100/1000/10000Mbps；支持 QoS 机制，可读取 IEEE802.1p/1Q 第二层 QoS 标签和第三层 TOS 信息，使重要数据能如期、持续地传输；全面支持工业网络必需的时钟同步 SNTP（简单网络时钟协议）功能，全网时钟统一，实

时性高；支持多种级别的安全特性，实现整个网络的安全部署。普通人员可以查看不可更改交换机配置，而管理员则可以修改交换机的配置，避免交换机的配置被非法修改。

b.办公网

办公信息网带宽：要充分考虑业务承载能力需求，集中管理简化运维的能力需求，要能够满足业务拓展。

组网方式：采用以数据中心机房为中心节点的扩展星型拓扑结构网络。

网络硬件：采用核心交换模式，由三层网管型交换机承担核心数据交换功能，并根据需要设置数台二层交换机提供全矿数据信息的核心交换功能。

因特网（Internet）接入与应用：使用专线方式接入双因特网线路，保证办公系统和财务、生产、管理、设备等资料信息的查询和交流等业务。

网络运维：要集中管理简化运维，能通过网关系统提供网络设备的统一管理，并配合相应软件模块实现网络健康监测，协助管理人员进行故障排除。

c.网络安全

在工控网络安全防护系统设计、实施过程中，建立等级保护深度防御体系，对计算环境、网络边界、通信网络、用户和数据进行全面加固。以《网络安全技术网络安全等级保护基本要求》（GB/T22239-2019）为依据，按照《网络安全技术网络安全等级保护安全设计技术要求》（GB/T25070-2019），建设符合矿山需要

的安全计算环境、安全区域边界和安全通信网络。

②数据中心

建立与矿山规模及信息化水平相适应的安全、开放、数据易于获取与高效处理的企业数据中心，为矿山应用提供基础环境支持。

a.机房硬件

数据中心建设标准不低于《数据中心设计规范》(GB50174)中C级标准。数据中心网络安全建设应满足相应网络安全等级保护要求。不间断电源系统应有自动和手动旁路装置，且其容量至少为负载的1.2倍。数据中心安全防范系统宜采用数字式系统，支持远程监视功能。数据中心的核⼼基础设施宜按容错系统配置，在电子信息系统运行期间，基础设施应在一次意外事故后或单系统设备维护或检修时仍能保证电子信息系统正常运行。

b.数据采集

数据采集系统应实现生产运营基础数据的在线、自动采集，采集范围应包括环境、资源、生产、设备、能源、质量、安全、运营管理等领域。数据应具备编码、时间、空间、关联、隶属等统一规范，便于数据共享与信息融合。

数据采集系统应统一建立数据服务系统，支持实时数据、关系数据以及非结构化数据的集中存储、管理和存取服务，并实现容灾备份功能。

(2) 地质资源管理

将原始勘探数据、生产勘探数据和炮孔岩粉样数据等进行可

视化，实现二、三维 GIS 数据同源化、联动化，直观形象显示勘探数据，完成矿床品位分析、矿床三维模型建立和储量估算等。在此基础上，实现资源储量升级、核减、三（二）级矿量圈定等资源储量的动态管理。主要建设要求如下：

①地质资料数字化

a.实现勘察报告、核实报告、生产勘探报告等地质资料及其附件图表的电子化存储。

b.电子化地质资料应实现多部门、多终端的异地实时更新、审阅、维护、发布和应用，数据的输入和输出应具有可追踪性。

②地质管理一体化

a.各类地质数据应建立相应的数据库实现持久化存储，应采用专业软件实现数字化管理。

b.应建立取样、制样、化验资料和数据的综合管理平台，统一规范取样、制样、化验工作流程，实时共享爆堆和化验数据，实现地质与生产过程一体化管理。

③三维地质建模

a.应实现矿产资源储量三维可视化、数字化管理和动态管理，可直观反映矿床的形态、产状、厚度、品位的三维空间分布规律。

b.应进行工程量计算和二级矿量计算。

c.应能进行中长期采剥计划和短期采剥计划编制。

d.应基于生产探矿数据或钻孔岩粉数据动态更新三维地质模型和块体模型。

④资源储量估算评价与动态管理

a.利用资源量模型和储量模型进行资源量和储量的估算评价。

b.利用资源量模型和储量模型按照不同需要输出资源量和储量报告数据。

c.资源量模型和储量模型应随勘探和生产数据的变动及时更新。

d.资源管理系统应可历史回溯矿山资源量和储量动态变化情况，实现动态跟踪管理。

⑤水文地质监测

矿山应实现水文地质资料数字化，主要内容为地表水环境、土壤环境及地形地貌景观等。

(3) 测量管理

①测量信息采集

矿山测量信息采集和传输应采用现代数字化、遥控测量技术及设备，包括手持 RTK、无人机航测、三维激光扫描仪等。

②测量数字化管理系统建立

测量工作应实现数字化管理，实现测量数据采集、存储、处理、统计及图形化展现，应具有行业通用数据输入、输出接口。

③测量三维模型构建

矿区地形、地面建筑、露天采场、采空区、地质体、探矿工程、坑内工程、生产掘进工程等测量成果应实现三维可视化管理，三维模型应用于生产管理。

(4) 采矿智能设计系统

①通过参数设置完成露天采矿设计，根据设计参数计算工程量，生成设计模型。

②对于露天开采，实现中长期计划、短期计划、露天爆破设计。

③该系统通过生产计划的录入以及设备对矿量的监测，将实时数据传入系统，通过智能配矿算法计算出工作计划表，来完成工作的实时下发，能够减少作业人员，提高作业效率。同时得到持续且稳定的入选品位，降低选厂用药成本。

④根据矿体、品位模型等数据进行计划编制，支持在三维可视化环境下根据工程类型、施工条件等对计划进行动态更新。

(5) 智能穿孔系统

①穿孔设计

使用穿孔设计软件，在测量和地质数据的基础上能通过设置参数自动完成穿孔设计（含炮孔布置、炮孔深度、孔径及炮孔倾角等参数）。

②信息采集

实时采集、显示矿区视频信息、环境信息、穿孔设备状态参数、作业参数、位置及姿态等信息。

③全局监控

应具备设备全局信息的显示，各部位运行状态监控，监控数据实时上传。

④自动化、远程遥控控制

应具备自动或远程遥控行走、精准定位、自动找孔、自动调平、全自动作业、精准测深；具备水压水量控制、液压传动控制、风压操作控制、运行状态监测与故障诊断等自动化控制系统。

⑤生产任务管理

应纳入智能综合管控平台管理，自动更新和储存任务执行信息、设备运行信息，自动生成生产报表。

(6) 智能爆破系统

①智能化爆破设计

使用爆破设计软件，通过设置参数自动完成炮孔装药量计算、爆破量计算、爆破网络设计、爆堆模拟、品位分布模拟等功能，通过设置参数自动圈定各项爆破影响范围、各类警戒范围。

②爆破信息化管理系统

通过信息化平台可以简洁、直观地动态掌握爆破工艺技术现状、工艺技术管理现状和质量管理现状。一是实现爆破计划及完成情况管理。主要对每次爆破的穿孔爆破、边坡爆破、掘进爆破等计划进行信息化管理，具体参数包括各钻机的日完成穿孔量、爆破量、炸药单耗等信息。二是自动生成爆破完成情况报表。具体包括：采区、水平、爆区编号、钻机编号、孔深、孔距、排距、段高、爆破量、爆破米道（米）、炸药单耗（kg/t）、炸药量、起爆器材、孔深合格率和孔网合格率等信息，直观看到爆破历史数据。三是建立爆破资料管理档案及查询。建立档案管理功能，对于爆破电子资料进行存档，包括穿孔任务书、爆区验收图、爆区连线图、爆区参数计算表等信息。技术人员可随时查阅相关资料，

便于横向与纵向对比。

（7）智能铲装系统

①铲装设备自动化改造

在挖掘机上加装智控中心、各类传感器、通信模块等，使其具备远程遥控功能。在此基础上，将机械臂的自动控制技术、自动驾驶的人工智能感知技术融合到挖掘机设备远程操控作业中，从而提高生产效率，保障生产安全。

②智能化软件系统开发

基于 5G 网络条件，通过高清摄像头、防撞雷达、倾角仪、陀螺仪等设备将电铲的数据信息反馈至远程控制室，还原现场画面、声音、振动环境，让操作员在远程控制室内同样能感受到作业现场的环境。同时配置安全保障系统，把电铲的控制部分接入远端，以达到矿山工作面少人化的目标。实现远程操作稳定装车。

（8）智能运输系统

①卡车运输系统

a.由调度中心控制管理装备了高精度定位能力的车辆，为每辆车指定装载机的位置和运输路线，车辆通过接收无线指令以合适的速度按照目标路线运行。

b.卡车由导航定位系统、调度中心控制装置无线指令和其他导引装置来确定车辆在矿山的准确坐标并了解周围情况，使卡车能在无人操作的情况下实现复杂装载运输、卸载循环的自动运行。

c.装载时，由安装了导航定位系统的挖掘机或装载机来计算并引导卡车至正确位置，由装载机自动进行装载。

d.卸载时，监测中心控制装置发送卸载点位置和路线信息，卡车在相应设备引导下到达卸载点，准确进行卸载。

②带式运输系统

带式运输机应实现自动化控制，具备远程启动和停止、参数复位、急停等功能。当皮带的跑偏开关、拉绳开关、撕裂装置、打滑装置动作时应能实现自动停机。带式输送机驱动应采用变频装置，带式输送机应具备过载保护功能，带式输送机的中转站应设置防棚堵功能，带式输送机应实现就地、远程控制切换功能。带式输送机的主要生产区域应实现无人值守。带式输送机、放矿机、中转站应实现集中控制和远程高清影像实时监控。

(9) 选矿自动化智能化系统

①破碎过程智能化操作控制

通过破碎全流程视频监控、基于矿石块度图像分析等技术实现故障报警，实现破碎过程的智能化操作，降低破碎停车故障，提高破碎运行效率。

②磨矿分级过程智能化操作控制

结合矿石块度图像分析、磨机负荷和分级粒度检测技术、磨机衬板磨损在线检测技术等，建立磨矿分级专家控制系统，实现磨矿分级的智能操作和分级粒度的闭环控制，稳定磨矿分级产品粒度、浓度技术指标，减少波动。

③选别过程智能化操作控制

面向浮选、磁选、电选等选别生产过程，结合在线品位分析、在线矿浆监测和机器视觉图像分析技术等，建立智能浮选机、智

能高梯度磁选机等选别全流程智能协同控制系统，实现选别流程稳定控制和优化控制。稳定选别精矿品位，降低废次，优化提高回收率。

④浓缩脱水过程智能化操作控制

基于浓密过程智能监测技术，结合操作经验、机理变化趋势及生产数据分析，形成浓缩脱水专家控制规则库，实现浓密机底流排矿优化与节能控制，提高浓密机底流放矿浓度，实现浓密与脱水过程峰平谷优化调度。

(10) 智慧应急管理系统

①隐蔽致灾因素普查、灾害治理

实现对矿山基础信息、普查成果、地勘工程、生产建设工程、灾害防治等成果资料及图纸的动态实时监测管理。

②安全监测预警系统（边坡监测、视频监控、人员定位）

系统建设内容如下：

a.监测子系统：利用智能机器人进行边坡的自动化变形监测，采用一台智能全站仪与监测点目标（照准棱镜）及上位控制计算机形成变形监测系统，可实现全天候的无人值守监测，其实质为极坐标自动测量系统。系统可自动采集、传输和处理变形点的三维数据。利用因特网或其他局域网，可实现远程监控管理。

b.高清视频监控：采集模式为高清数字摄像机-硬盘录像机-PC 客户端，实现对边坡面的实时视频监控，能对监控图像进行实时存储，具有回放、录像以及预置位功能。通过现场摄像头实

时拍摄并传输至调度室显示屏上，直观显现边坡运行情况。在边坡面具有代表性的或重要区域设置视频监测点，对监测区域实施视频影像监测；针对不便于线路架设的视频监控区域，采取风电互补的清洁能源供电技术与无线网桥传输技术，有效扩展视频系统的范围。

c.降雨量监测：通过对监测点的雨量阈值进行分析计算，确定滑坡的临界雨量范围，降雨达到临界雨量，自动发布滑坡警报。

d.红外入侵告警系统：在采场边坡平台入口位置建设红外入侵监测高分贝语音告警系统，当有人、车闯入未经许可入口时，可高音警报提示，同时邻近摄像头切换到预设位实时监控，并将报警信号回传至监控中心。

e.专家软件系统：专家软件系统是安全监测预警系统的关键组成部分，不仅可对实时采集的数据直观查看和组织生成各种生产报表，更可结合专家软件模型，综合处理各种数据，得到科学的分析结果，从而指导生产，保证边坡安全运行。企业可以将下属各个边坡信息进行统一管理发布，并可将实时数据按照县、市等相关平台接口定义发送。最大限度保障边坡系统安全。

③双重预防信息化系统

双重预防信息化系统涉及矿山安全管理方面，涵盖风险分级管控及隐患排查治理。主要包括前期准备、划分风险评估单元、辨识各类危险源、风险评估、风险分级管控、安全风险公告、隐患排查、隐患分级、隐患治理等。通过信息化手段，实现企业资

质证照智能分组、过期自动提醒，以及危险源点的实时监控预警、自动评估、智能分析、综合判断等功能。

④矿用安全设备全生命周期监测系统

矿用安全设备全生命周期监测系统通过对矿用安全设备数据采集、分析统计，实现设备选型、采购计划、投产使用、在线盘点、监测分析、故障预警、巡检维修和报废再生的全生命周期进行闭环管理，使矿山能够实时掌握每台设备在开采区、井下巷道或库房等区域上的位置信息，为管理决策提供精准有效的数据依据。

系统包含以下功能：设备管理、感知数据在线监测、设备故障预警、设备全生命管理、移动 APP 端。

(11) 矿山生产综合管控平台

建设智能管控中心，构建多业务、多系统一体化、可视化高度融合的智能综合管控平台，支持多种通信协议，将矿山生产、安全等多源异构系统数据进行采集、集成，让矿山运营透明可视、资源调度快速有序、生产安全高效协同，提升矿山运作效率和整体产能。

5. 应用案例

(1) 长九（神山）灰岩矿

长九(神山)灰岩矿矿区位于安徽省池州市西南方向约 37km 处，隶属池州市贵池区，设计开采规模 7000 万吨/年，总运营期约 29.5 年。

长九（神山）灰岩矿项目主要按建筑用砂石骨料规划设计，共分为三大工程，即矿山开采及加工系统、物流廊道工程和长九专用码头工程。矿山开采的原矿经溜井、平硐运输至附近的破碎加工系统，加工后成品混合料经长距离胶带机运输至码头堆场，经再次筛洗分级后由装船机装船外销。

长九项目拥有全国单一体量规模最大的生产系统，涵盖矿山开采、矿石加工、廊道输送、陆域筛洗和码头装船，体量庞大、异常复杂。矿山成功引用数字化管理，建成了物联网管控和智慧码头管理系统；在产品研发端，建成砂石行业全国首家三级试验室，稳定保持试验检测技术的科学性、前沿性和先进性，为高品质砂石产品的生产和深度应用提供了技术支撑。

矿山已建立智慧矿山开采调度系统，主要包括无线通信系统、车载终端系统、智能调度平台、监控中心系统。其中无线通信系统实现车载终端系统与监控中心系统之间的信息交互，包括设备运行状态信息、调度指令、定位信息、报警信息等。目前网络传输方式有公网传输与专网传输。车载终端系统包含卡车调度终端和 AI 行为分析终端，通过公网将信号传输至后台服务器。智能调度平台将对生产数据进行存储整理分析，达到管理、决策、指挥生产的目的。

矿山已建立智能安全管控系统，主要功能包括人员穿戴及行为违章实时识别、人员分布管理、厂区及硐室出入管理、特殊作业管理、作业安全管控、反违章管理、考核管理、胶带运行异常

识别、数字化智能巡检、风险安全管理、隐患排查管理、配电房安全管理、智能安全管控智慧中心。通过智能安全管控应用，移动端 APP 可适配安卓及 ios 系统，可随时随地实现违章的“报警推送、流程处理、数据查看”等协同功能，支持违章行为手动上报，发现违规行为后可第一时间通过移动端填报及审批。

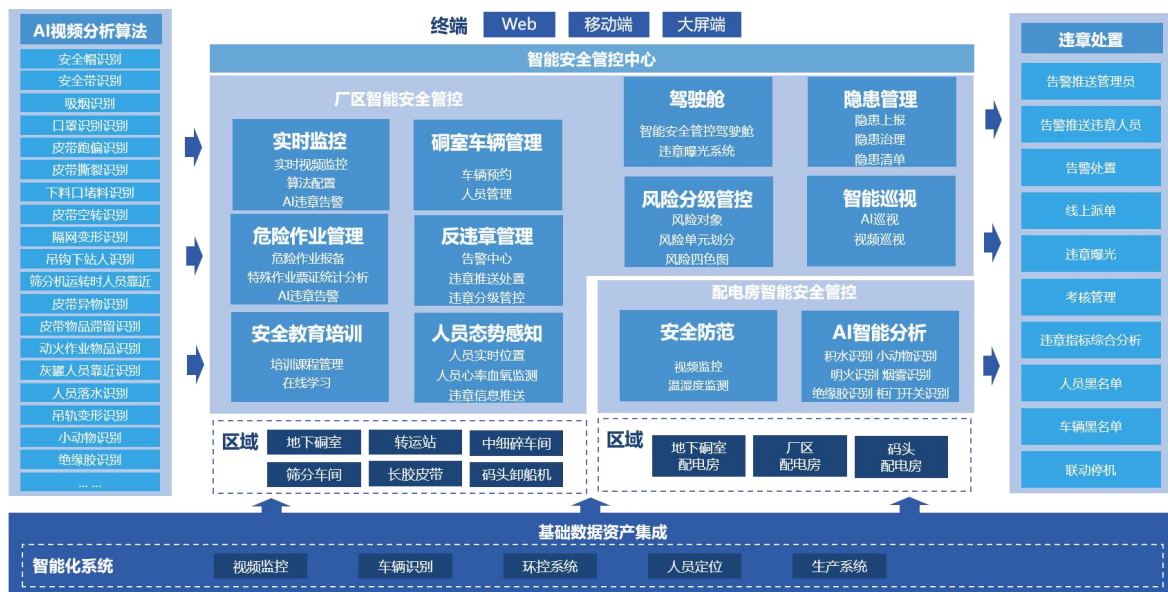


图 2 长九（神山）灰岩矿智能安全管控应用



图 3 长九（神山）灰岩矿智能调度系统

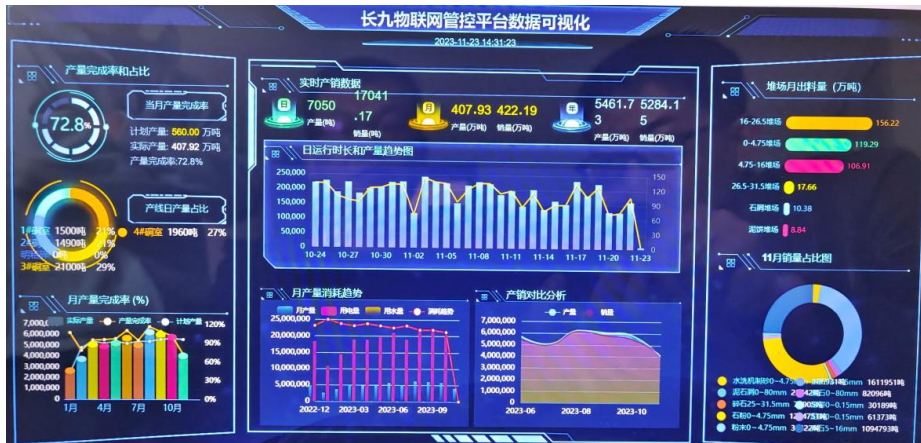


图 4 长九（神山）灰岩矿物联网管控平台数据可视化

(2) 芜湖海螺

海螺集团是一家大型建材企业集团，组建于 1996 年，总部设在中国安徽省芜湖市，主导产业为水泥制造，下属安徽海螺水泥股份有限公司，主要从事水泥、商品熟料、商砼及骨料的生产 and 销售。芜湖海螺数字化矿山项目自 2018 年 12 月份启动，于 2019 年 7 月完成建设，目前由智能矿山、卡车调配、质量控制和视频监控四大系统组成。

芜湖海螺智能矿山建设，以实现矿山资源可视化、开采方案合理化、出矿品位均匀化、指标控制精细化及生产调度智能化为目标，基于矿山资源综合利用的原则，最大限度地挖掘和发挥矿山数据的潜能和作用，给予矿山资源管理、生产计划等各方面以现代化的管理手段和科学的决策支持。

芜湖海螺数字化矿山以石灰石质量控制为主线，利用数字采矿软件进行矿产资源管理和开采计划管理；结合智能调度系统、在线质量检测系统实现矿山生产调度自动化和质量控制智能化；

依托智能管控平台完成生产、质量、设备等数据自动采集和管理，达到安全、高效、绿色的开采目的。

芜湖海螺智能矿山建设包含以下六点总体内容：

①实现矿山三维地质建模、地质数据处理、炮堆参数赋值和精细化生产配矿；

②通过数据自动采集、智能化统计分析实现矿山开采生产管理模式变革；

③通过通信、定位等方法构建矿山虚拟生产系统，实现生产与安全的集中管控；

④根据品位控制要求的配矿指令，合理地调度设备，实现“铲不等车、车不待铲”；

⑤实时检测质量，自动配矿计算，实现无人化、自动化、智能化的生产异常处理；

⑥实现多源信息的高效组织管理和各系统模块之间实时信息同步共享。

6. 技术难点

(1) 地质资源的三维可视化实时更新。目前普遍为构建三维可视化模型，无法根据采掘进度变化实时更新三维可视化模型。

(2) 露天穿孔作业远程控制效率低。从技术层面能够实现露天穿孔作业远程控制，但作业效率远低于人工作业，普及难度大。

(3) 露天无人卡调系统作业效率及流畅性不足。受现场作

业环境制约，大型露天矿山企业运输卡车数量较多且密集，网络通讯、卡车运输现场环境等制约了露天无人卡调系统的普及。

7. 措施建议

（1）大型露天矿山应引进先进的三维可视化软件及相应人才，满足矿山地质资源的三维可视化实时更新。

（2）开发成熟的露天穿孔作业远程控制装备，尤其是远程识别系统上，应进行技术攻关。

（3）规范露天矿山运输作业环境及运输道路建设，提高露天作业区域网络覆盖精准度，减少网络延迟，进一步提高露天卡调系统的作业效率及流畅性。

二、中型露天矿山数字化智能化转型典型路径方案

1. 适用范围

本项转型路径适用于安徽省内中型非煤露天开采矿山数字化智能化建设和管理。

2. 总体框架

以中型露天矿山、选厂现状为基础，以实现矿山技术、生产、安全、管理全作业链信息化智能化为目标，智能矿山建设基本架构主要分五层，分别为感知执行层、网络传输层、数字平台层、应用开发层、运营展示层。

感知执行层负责实现各子系统数据的感知与采集，同时对执行设备下发控制指令。网络传输层由 WiFi 网络、有线接入、4G/5G/WiFi6/专线等系统组成，负责信息和数据的双向传送。数字平台层向下实现各种多源异构感知数据的接入，向上为智能矿山应用层的开发提供服务和工具。应用开发层为用户提供实际使用到的涉及矿山生产、安全、经营管理、决策分析各环节的各类操作软件及工具。运营展示层主要包括移动端、PC 端、综合展示大屏等功能，方便指挥和管理人员远程操控、精准调度。

Level5	运营展示层	移动端		PC 端			大屏端
Level4	应用开发层	地质资源	测量管理	采矿设计	智能穿孔	...	
		智能铲装	智能运输	边坡监测	智能监控	...	
		智能选厂		智慧管理			...
Level3	数字平台层	大数据	视频	AI	IoT	GIS	融合通信
Level2	网络传输层	WiFi 网络		4G/5G/WiFi6/专线			有线接入
Level1	感知执行层	摄像头	定位装置	控制/执行设备	传感器	其他设备	

图 5 中型露天矿山数字化智能化总体架构

3. 技术要求

根据矿山不同类型及发展阶段，中型露天矿山经过 2~3 年的技术及装备改造提升，应实现装备机械化和信息数字化、数字化，多个子系统的智能化。

矿山应首先进行智能化矿山建设方案规划设计，然后按设计方案进行网络信息化基础设施建设，并对各子系统进行改造升级及相关软硬件设备设施的安装调试，预计建设周期 2 年左右，总资金投入在 970 万元左右。智能化投入根据矿山的改造项目数量、矿山的规模以及系统情况有所差异。建设项目、建设内容、资金投入、建设周期如下表所示。

表 2 中型露天开采矿山数字化智能化转型路径

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
1	基础设施	通信系统设施：含有线、无线环网	硬件100万 软件50万	3个月
2		数据中心与服务：含数据存储及机房		
3	地质资源	地质资料数字化	硬件40万 软件60万	4个月
4		地质管理一体化		

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
5		资源储量估算评价与动态管理		
6		水文地质监测		
7	测量管理	测量信息采集	硬件30万 软件50万	2个月
8	采矿智能设计	中长期计划、短期计划、露天爆破设计	硬件30万 软件40万	3个月
9		根据矿体、品位模型等数据进行计划编制		
10	智能穿孔系统	穿孔设计、信息采集(可选)	硬件50万 软件30万	3个月
11		生产任务管理(可选)		
12	智能铲装系统	铲装设备自动化改造(远程遥控、精准作业、异常警告)(可选)	硬件40万 软件30万	3个月
13		智能化软件系统开发(可选)		
14	智能运输系统	卡车运输系统(精准定位)(可选)	硬件45万 软件35万	3个月
15		带式运输系统(远程自动化控制)(可选)		
16	选矿自动化智能化系统建设	破碎过程智能化操作控制	硬件100万 软件50万	4个月
17		磨矿分级过程智能化操作控制		
18		选别过程智能化操作控制		
19		浓缩脱水过程智能化操作控制		
20	智慧应急管理 系统	隐蔽致灾因素普查、灾害治理	硬件50万 软件70万	4个月
21		安全监测预警系统(边坡监测、视频监控、人员定位)		
22		双重预防信息化系统		
23		矿用安全设备全生命周期监测系统		
24	矿山生产综合 管控平台	实现矿山生产、安全、设备、管理等综合 管控	硬件20万 软件50万	2个月

注：由于各矿山工艺特点、生产规模、开采矿种、装备应用等存在差异性，以及智能矿山技术更新迭代，表格中智能化资金投入及建设周期仅供参考，部分项目可同步进行建设。

4. 技术功能特性

(1) 基础设施

① 基础网络

综合规划建设办公网、监控网、控制网及其他高速工业网络，支持数据采集、信息管理、视频监控、安全监测等信息化应用，保障数据安全可靠传输。

a.工业网

工业环网带宽：主要以矿山工业环网所承载业务及数据流量分析为基础，地表环网为千兆。

组网方式：采用环形或双环形组网技术和环间耦合技术，以实现传输链路或网络节点故障时，环网自动切换，对于时延要求高的设备可独立成环。

性能要求：网络建设具有高可靠冗余性；汇聚交换机与核心交换机实现万兆 OSPF 和线路冗余，支持三层路由功能；搭建设备监控、告警和展示平台，满足现有节点（网络设备），必须满足结合物理位置展示逻辑拓扑及连接情况，提供所需的软硬件平台，历史故障及告警信息可追溯、可查询；建设统一、高效、实时、稳定、安全的现场生产控制网络；实现主千万兆环网冗余，支路千兆网络带宽；冗余环网切换时间小于 20ms，支持冗余环间耦合。数据传输速率范围 10/100/1000/10000Mbps；支持 QoS 机制，可读取 IEEE802.1p/1Q 第二层 QoS 标签和第三层 TOS 信息，使重要数据能如期、持续地传输；全面支持工业网络必需的时钟同步 SNTP（简单网络时钟协议）功能，全网时钟统一，实时性高；支持多种级别的安全特性，实现整个网络的安全部署。普通人员可以查看不可更改交换机配置，而管理员则可以修改交换机的配置，避免交换机的配置被非法修改。

b. 办公网

办公信息网带宽：要充分考虑业务承载能力需求，集中管理简化运维的能力需求，要能够满足业务拓展。

组网方式：采用以数据中心机房为中心节点的扩展星型拓扑结构网络。

网络硬件：采用核心交换模式，由三层网管型交换机承担核心数据交换功能，并根据需要设置数台二层交换机提供全矿数据信息的核心交换功能。

因特网（Internet）接入与应用：使用专线方式接入双因特网线路，保证办公系统和财务、生产、管理、设备等资料信息的查询和交流等业务。

网络运维：要集中管理简化运维，能通过网关系统提供网络设备的统一管理，并配合相应软件模块实现网络健康监测，协助管理人员进行故障排除。

c. 网络安全

在工控网络安全防护系统设计、实施过程中，建立等级保护深度防御体系，对计算环境、网络边界、通信网络、用户和数据进行全面加固。以《网络安全技术网络安全等级保护基本要求》（GB/T22239-2019）为依据，按照《网络安全技术网络安全等级保护安全设计技术要求》（GB/T25070-2019），建设符合矿山需要的安全计算环境、安全区域边界和安全通信网络。

② 数据中心

建立与矿山规模及信息化水平相适应的安全、开放、数据易

于获取与高效处理的企业数据中心，为矿山应用提供基础环境支持。

a. 机房硬件

数据中心建设标准不低于《数据中心设计规范》(GB50174)中 C 级标准。数据中心网络安全建设应满足相应网络安全等级保护要求。不间断电源系统应有自动和手动旁路装置，且其容量至少为负载的 1.2 倍。数据中心安全防范系统宜采用数字式系统，支持远程监视功能。数据中心的核⼼基础设施宜按容错系统配置，在电子信息系统运行期间，基础设施应在一次意外事故后或单系统设备维护或检修时仍能保证电子信息系统正常运行。

b. 数据采集

数据采集系统应实现生产运营基础数据的在线、自动采集，采集范围应包括环境、资源、生产、设备、能源、质量、安全、运营管理等领域。数据应具备编码、时间、空间、关联、隶属等统一规范，便于数据共享与信息融合。

数据采集系统应统一建立数据服务系统，支持实时数据、关系数据以及非结构化数据的集中存储、管理和存取服务，并实现容灾备份功能。

(2) 地质资源管理

将原始勘探数据、生产勘探数据和炮孔岩粉样数据等进行可视化，实现二、三维 GIS 数据同源化、联动化，直观形象显示勘探数据，完成矿床品位分析、储量估算等。在此基础上，实现资源储量升级、核减、三(二)级矿量圈定等资源储量的动态管理。

主要建设要求如下：

①地质资料数字化

a.实现勘察报告、核实报告、生产勘探报告等地质资料及其附件图表的电子化存储。

b.电子化地质资料应实现多部门、多终端的异地实时更新、审阅、维护、发布和应用，数据的输入和输出应具有可追踪性。

②地质管理一体化

a.各类地质数据应建立相应的数据库实现持久化存储，应采用专业软件实现数字化管理。

b.应建立取样、制样、化验资料和数据的综合管理平台，统一规范取样、制样、化验工作流程，实时共享爆堆和化验数据，实现地质与生产过程一体化管理。

③资源储量估算评价与动态管理

a.利用资源量模型和储量模型进行资源量和储量的估算评价。

b.利用资源量模型和储量模型按照不同需要输出资源量和储量报告数据。

c.资源量模型和储量模型应随勘探和生产数据的变动及时更新。

d.资源管理系统应可历史回溯矿山资源量和储量动态变化情况，实现动态跟踪管理。

④水文地质监测

a.矿山应实现水文地质资料数字化，主要内容为地表水环

境、土壤环境及地形地貌景观等。

（3）测量管理

①测量信息采集

矿山测量信息采集和传输应采用现代数字化、遥控测量技术及设备，包括手持 RTK、无人机航测、三维激光扫描仪等。

（4）采矿智能设计系统

①对于露天开采，实现中长期计划、短期计划、露天爆破设计。

②根据矿体、品位模型等数据进行计划编制，支持在三维可视化环境下根据工程类型、施工条件等对计划进行动态更新。

（5）智能穿孔系统

①穿孔设计

使用穿孔设计软件，在测量和地质数据的基础上能通过设置参数自动完成穿孔设计（含炮孔布置、炮孔深度、孔径及炮孔倾角等参数）。

②信息采集

实时采集、显示矿区视频信息、环境信息、穿孔设备状态参数、作业参数、位置及姿态等信息。

③生产任务管理

应纳入智能综合管控平台管理，自动更新和储存任务执行信息、设备运行信息，自动生成生产报表。

（6）智能铲装系统

①铲装设备自动化改造

在挖掘机上加装智控中心、各类传感器、通信模块等，使其具备远程遥控功能。在此基础上，将机械臂的自动控制技术、自动驾驶的人工智能感知技术融合到挖掘机设备的远程操控作业中，从而提高生产效率，保障生产安全。

②智能化软件系统开发

基于 5G 网络条件，通过高清摄像头、防撞雷达、倾角仪、陀螺仪等设备将电铲的数据信息反馈至远程控制室，还原现场画面、声音、振动环境，让操作员在远程控制室内同样能感受到作业现场的环境。同时配置安全保障系统，把电铲的控制部分接入远端，以达到矿山工作面少人化的目标，实现远程操作稳定装车。

(7) 智能运输系统

①卡车运输系统

a. 由调度中心控制管理装备了高精度定位能力的车辆，为每辆车指定装载机的位置和运输路线，车辆通过接收无线指令以合适的速度按照目标路线运行。

b. 卡车由导航定位系统、调度中心控制装置无线指令和其他导引装置来确定车辆在矿山的准确坐标并了解周围情况，使卡车能在无人操作的情况下实现复杂装载运输、卸载循环的自动运行。

c. 装载时，由安装了导航定位系统的挖掘机或装载机来计算并引导卡车至正确位置，由装载机自动进行装载。

d. 卸载时，监测中心控制装置发送卸载点位置和路线信息，卡车在相应设备引导下到达卸载点，准确进行卸载。

②带式运输系统

带式运输机应实现自动化控制，具备远程启动和停止、参数复位、急停等功能。当皮带的跑偏开关、拉绳开关、撕裂装置、打滑装置动作时应能实现自动停机。带式输送机驱动应采用变频装置，带式输送机应具备过载保护功能，带式输送机的中转站应设置防棚堵功能，带式输送机应实现就地、远程控制切换功能。带式输送机的主要生产区域应实现无人值守。带式输送机、放矿机、中转站应实现集中控制和远程高清影像实时监控。

（8）选矿自动化智能化系统

①破碎过程智能化操作控制

通过破碎全流程视频监控、基于矿石块度图像分析等技术实现故障报警，实现破碎过程的智能化操作，降低破碎停车故障，提高破碎运行效率。

②磨矿分级过程智能化操作控制

结合矿石块度图像分析、磨机负荷和分级粒度检测技术、磨机衬板磨损在线检测技术等，建立磨矿分级专家控制系统，实现磨矿分级的智能操作和分级粒度的闭环控制，稳定磨矿分级产品粒度、浓度技术指标，减少波动。

③选别过程智能化操作控制

面向浮选、磁选、电选等选别生产过程，结合在线品位分析、在线矿浆监测和机器视觉图像分析技术等，建立智能浮选机、智能高梯度磁选机等选别全流程智能协同控制系统，实现选别流程稳定控制和优化控制。稳定选别精矿品位，降低废次，优化提高

回收率。

④浓缩脱水过程智能化操作控制

基于浓密过程智能监测技术，结合操作经验、机理变化趋势及生产数据分析，形成浓缩脱水专家控制规则库，实现浓密机底流排矿优化与节能控制，提高浓密机底流放矿浓度，实现浓密与脱水过程峰平谷优化调度。

(9) 智慧应急管理系统

①隐蔽致灾因素普查、灾害治理

实现对矿山基础信息、普查成果、地勘工程、生产建设工程、灾害防治等成果资料及图纸的动态实时监测管理。

②安全监测预警系统（边坡监测、视频监控、人员定位）

系统建设内容如下：

a. 监测子系统：利用智能机器人进行边坡的自动化变形监测，采用一台智能全站仪与监测点目标（照准棱镜）及上位控制计算机形成变形监测系统，可实现全天候的无人值守监测，其实质为极坐标自动测量系统。系统可自动采集、传输和处理变形点的三维数据。利用因特网或其他局域网，可实现远程监控管理。

b. 高清视频监控：采集模式为高清数字摄像机-硬盘录像机-PC 客户端，实现对边坡面的实时视频监控，能对监控图像进行实时存储，具有回放、录像以及预置位功能。通过现场摄像头实时拍摄并传输至调度室显示屏上，直观显现边坡运行情况。在边坡面具有代表性的或重要区域设置视频监测点，对监测区域实施视频影像监测；针对不便于线路架设的视频监控区域，采取风电

互补的清洁能源供电技术与无线网桥传输技术，有效扩展视频系统的范围。

c.降雨量监测：通过对监测点的雨量阈值进行分析计算，确定滑坡的临界雨量范围，降雨达到临界雨量，自动发布滑坡警报。

d.红外入侵告警系统：在采场边坡平台入口位置建设红外入侵监测高分贝语音告警系统，当有人、车闯入未经许可入口时，可高音警报提示，同时邻近摄像头切换到预设位实时监控，并将报警信号回传至监控中心。

e.专家软件系统：专家软件系统是安全监测预警系统的关键组成部分，不仅可对实时采集的数据直观查看和组织生成各种生产报表，更可结合专家软件模型，综合处理各种数据，得到科学的分析结果，从而指导生产，保证边坡安全运行。企业可以将下属各个边坡信息进行统一管理发布，并可将实时数据按照县、市等相关平台接口定义发送。最大限度保障边坡系统安全。

③双重预防信息化系统

双重预防信息化系统涉及矿山安全管理方面，涵盖风险分级管控及隐患排查治理。主要包括前期准备、划分风险评估单元、辨识各类危险源、风险评估、风险分级管控、安全风险公告、隐患排查、隐患分级、隐患治理等。通过信息化手段，实现企业资质证照智能分组、过期自动提醒，以及危险源点的实时监控预警、自动评估、智能分析、综合判断等功能。

④矿用安全设备全生命周期监测系统

矿用安全设备全生命周期监测系统通过对矿用安全设备数据采集、分析统计，实现设备选型、采购计划、投产使用、在线盘点、监测分析、故障预警、巡检维修和报废再生的全生命周期进行闭环管理，使矿山能够实时掌握每台设备在开采区、井下巷道或库房等区域上的位置信息，为管理决策提供精准有效的数据依据。

系统包含以下功能：设备管理、感知数据在线监测、设备故障预警、设备全生命管理、移动 APP 端。

（10）矿山生产综合管控平台

建设智能管控中心，构建多业务、多系统一体化、可视化高度融合的智能综合管控平台，支持多种通信协议，将矿山生产、安全等多源异构系统数据进行采集、集成，让矿山运营透明可视、资源调度快速有序、生产安全高效协同，提升矿山运作效率和整体产能。

5. 应用案例

安徽省牛山西方解石矿为一生产矿山，采矿权人为安徽牛山矿山科技有限公司。该矿山距离铜陵市约 15km，行政区划隶属铜陵市义安区顺安镇管辖。

牛山西方解石矿目前生产工序主要包括：勘探 - 爆破 - 铲装 - 运 - 卸 - 加工。通过传统的人工调度模式，实现生产计划、班组出矿计划、铲装设备、矿卡运行、统计分析等实时生产过程调度管理。

2023 年 9 月委托安徽铜冠智能科技有限公司编制了《牛

山西方解石矿卡协同调度系统项目建设规划方案》，根据该方案，结合矿山技改要求，准备新建一套“露天矿山矿卡协同调度系统平台”，争取实现矿山生产管理的数字化转型。“露天矿山矿卡协同调度系统”平台建设范围为：采场装载设备、运输矿卡、无线MNSE网络、GIS二维地图、GPS导航系统、车辆精确定位系统、运输路网等管理及以人工调度方式为主的协同管理平台软件。矿山矿卡调度系统作业流程可简要概括为“上班开启 - 装载 - 运输 - 卸载 - 下班停车”等。

6. 技术难点

(1) 露天穿孔作业远程控制效率低。从技术层面能够实现露天穿孔作业远程控制，但作业效率远低于人工作业，普及难度大。

(2) 露天卡调运输系统作业效率及流畅性不足。由于受现场作业环境制约，对于中型露天矿山企业，在网络通讯、卡车运输现场环境等方面制约了露天卡调系统的普及。

7. 措施建议

(1) 开发成熟的露天穿孔作业远程控制装备，尤其是远程识别系统上，应进行技术攻关。

(2) 规范露天矿山运输作业环境及运输道路建设，提高露天作业区域网络覆盖精准度，减少网络延迟，进一步提高露天卡调系统的作业效率及流畅性。

三、小型露天矿山数字化智能化转型典型路径方案

1. 适用范围

本项转型路径适用于安徽省内小型非煤露天开采矿山数字化智能化建设和管理。

2. 总体框架

以小型露天矿山、选厂现状为基础，以全面实现矿山技术、生产、安全、管理全作业链信息化智能化为目标，智能矿山建设基本架构主要分五层，分别为感知执行层、网络传输层、数字平台层、应用开发层、运营展示层。

感知执行层负责实现各子系统数据的感知与采集，同时对执行设备下发控制指令。网络传输层由 WiFi 网络、有线接入、4G/5G/WiFi6/专线等系统组成，负责信息和数据的双向传送。数字平台层向下实现各种多源异构感知数据的接入，向上为智能矿山应用层的开发提供服务 and 工具。应用开发层为用户提供实际使用到的涉及矿山生产、安全、经营管理、决策分析各环节的各类操作软件及工具。运营展示层主要包括移动端、PC 端、综合展示大屏等功能，方便指挥和管理人员远程操控、精准调度。

Level5	运营展示层	移动端		PC 端		大屏端	
Level4	应用开发层	地质资源	测量管理	采矿设计	智能穿孔	...	
		智能铲装	智能运输	智能监控	智慧管理	...	
Level3	数字平台层	大数据	视频	AI	IoT	GIS	融合通信
Level2	网络传输层	WiFi 网络		4G/5G/WiFi6/专线		有线接入	
Level1	感知执行层	摄像头	定位装置	控制/执行设备	传感器	其他设备	

图 6 小型露天矿山数字化智能化总体架构

3. 技术要求

根据矿山不同类型及发展阶段，小型露天矿山经过1~2年的技术及装备改造提升，应实现装备机械化和部分生产环节管理信息化，单一子系统的智能化。

矿山应首先进行智能化矿山建设方案规划设计，然后按设计方案进行网络信息化基础设施建设，并对各子系统进行改造升级及相关软硬件设备设施的安装调试，预计建设周期1.5年左右，总资金投入在390万元左右。智能化投入根据矿山的改造项目数量、矿山的规模以及系统情况有所差异。建设项目、建设内容、资金投入、建设周期如下所示。

表3 小型露天开采矿山数字化智能化转型路径

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
1	基础设施	通信系统设施：含有线、无线环网	硬件30万 软件20万	2个月
2		数据中心与服务：含数据存储及机房		
3	地质资源	地质资料数字化	硬件10万 软件20万	2个月
4		地质管理一体化		
5	测量管理	测量信息采集	硬件10万 软件15万	2个月
6	采矿智能设计	中长期计划、短期计划、露天爆破设计	硬件20万 软件25万	3个月
7		根据矿体、品位模型等数据进行计划编制		
8	智能穿孔系统	穿孔设计、信息采集（可选）	硬件30万 软件20万	3个月
9		生产任务管理（可选）		
10	智能铲装系统	铲装设备自动化改造（远程遥控、精准作业、异常警告）（可选）	硬件15万 软件30万	3个月
11	智能运输系统	卡车运输系统（精准定位）（可选）	硬件15万 软件20万	2个月
12	智慧应急管理系统	安全监测预警系统（边坡监测、视频监控、人员定位）（可选）	硬件30万 软件40万	4个月

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
13		双重预防信息化系统（可选）		
14		矿用安全设备全生命周期监测系统		
15	矿山生产综合管控平台	实现矿山生产、安全、设备、管理等综合管控	硬件15万 软件25万	2个月

注：由于各矿山工艺特点、生产规模、开采矿种、装备应用等存在差异性，以及智能矿山技术更新迭代，表格中智能化资金投入及建设周期仅供参考，部分项目可同步进行建设。

4. 技术功能特性

（1）基础设施

①基础网络

综合规划建设办公网、监控网、控制网及其他高速工业网络，支持数据采集、信息管理、视频监控、安全监测等信息化应用，保障数据安全可靠传输。

a.工业网

工业环网带宽：主要以矿山工业环网所承载业务及数据流量分析为基础，地表环网为千兆。

组网方式：采用环形或双环形组网技术和环间耦合技术，以实现传输链路或网络节点故障时，环网自动切换，对于时延要求高的设备可独立成环。

性能要求：网络建设具有高可靠冗余性；汇聚交换机与核心交换机实现万兆 OSPF 和线路冗余，支持三层路由功能；搭建设备监控、告警和展示平台，满足现有节点（网络设备），必须满足结合物理位置展示逻辑拓扑及连接情况，提供所需的软硬件平台，历史故障及告警信息可追溯、可查询；建设统一、高效、实

时、稳定、安全的现场生产控制网络；实现主千万兆环网冗余，支路千兆网络带宽；冗余环网切换时间小于 20ms，支持冗余环间耦合。数据传输速率范围 10/100/1000/10000Mbps；支持 QoS 机制，可读取 IEEE802.1p/1Q 第二层 QoS 标签和第三层 TOS 信息，使重要数据能如期、持续地传输；全面支持工业网络必需的时钟同步 SNTP（简单网络时钟协议）功能，全网时钟统一，实时性高；支持多种级别的安全特性，实现整个网络的安全部署。普通人员可以查看不可更改交换机配置，而管理员则可以修改交换机的配置，避免交换机的配置被非法修改。

b. 办公网

办公信息网带宽：要充分考虑私有云以及云桌面业务承载能力需求，集中管理简化运维的能力需求，要能够满足业务拓展。

组网方式：采用以数据中心机房为中心节点的扩展星型拓扑结构网络。

网络硬件：采用核心交换模式，由三层网管型交换机承担核心数据交换功能，并根据需要设置数台二层交换机提供全矿数据信息的核心交换功能。

因特网（Internet）接入与应用：使用专线方式接入双因特网线路，保证办公系统和财务、生产、管理、设备等资料信息的查询和交流等业务。

网络运维：要集中管理简化运维，能通过网关系统提供网络设备的统一管理，并配合相应软件模块实现网络健康监测，协助管理人员进行故障排除。

c.网络安全

在工控网络安全防护系统设计、实施过程中，建立等级保护深度防御体系，对计算环境、网络边界、通信网络、用户和数据进行全面加固。以《网络安全技术网络安全等级保护基本要求》（GB/T22239-2019）为依据，按照《网络安全技术网络安全等级保护安全技术要求》（GB/T25070-2019），建设符合矿山需要的安全计算环境、安全区域边界和安全通信网络。

②数据中心

建立与矿山规模及信息化水平相适应的安全、开放、数据易于获取与高效处理的企业数据中心，为矿山应用提供基础环境支持。

a.机房硬件

数据中心建设标准不低于《数据中心设计规范》（GB50174）中 C 级标准。数据中心网络安全建设应满足相应网络安全等级保护要求。不间断电源系统应有自动和手动旁路装置，且其容量至少为负载的 1.2 倍。数据中心安全防范系统宜采用数字式系统，支持远程监视功能。数据中心的核⼼基础设施宜按容错系统配置，在电子信息系统运行期间，基础设施应在一次意外事故后或单系统设备维护或检修时仍能保证电子信息系统正常运行。

b.数据采集

数据采集系统应实现生产运营基础数据的在线、自动采集，采集范围应包括环境、资源、生产、设备、能源、质量、安全、运营管理等领域。数据应具备编码、时间、空间、关联、隶属等

统一规范，便于数据共享与信息融合。

数据采集系统应统一建立数据服务系统，支持实时数据、关系数据以及非结构化数据的集中存储、管理和存取服务，并实现容灾备份功能。

（2）地质资源管理

将原始勘探数据、生产勘探数据和炮孔岩粉样数据等进行数字化，实现二、三维 GIS 数据同源化、联动化，直观形象显示勘探数据，完成矿床品位分析、储量估算等。主要建设要求如下：

①地质资料数字化

a.实现勘察报告、核实报告、生产勘探报告等地质资料及其附件图表的电子化存储。

b.电子化地质资料应实现多部门、多终端的异地实时更新、审阅、维护、发布和应用，数据的输入和输出应具有可追踪性。

②地质管理一体化

a.各类地质数据应建立相应的数据库实现持久化存储，应采用专业软件实现数字化管理。

b.应建立取样、制样、化验资料和数据的综合管理平台，统一规范取样、制样、化验工作流程，实时共享爆堆和化验数据，实现地质与生产过程一体化管理。

（3）测量管理

①测量信息采集

矿山测量信息采集和传输应采用现代数字化、遥控测量技术及设备，包括手持 RTK、无人机航测、三维激光扫描仪等，可

以委托第三方进行相关数据采集。

(4) 采矿智能设计系统

①对于露天开采，实现中长期计划、短期计划、露天爆破设计。

②根据矿体、品位模型等数据进行计划编制。

(5) 智能穿孔系统

①穿孔设计

使用穿孔设计软件，在测量和地质数据的基础上能通过设置参数自动完成穿孔设计（含炮孔布置、炮孔深度、孔径及炮孔倾角等参数）。

②信息采集

实时采集、显示矿区视频信息、环境信息、穿孔设备状态参数、作业参数、位置及姿态等信息。

③生产任务管理

应纳入智能综合管控平台管理，自动更新和储存任务执行信息、设备运行信息，自动生成生产报表。

(6) 智能铲装系统

在挖掘机上加装智控中心、各类传感器、通信模块等，使其具备远程遥控功能。在此基础上，将机械臂的自动控制技术、自动驾驶的人工智能感知技术融合到挖掘机设备的远程操控作业中，从而提高生产效率，保障生产安全。

(7) 智能运输系统

①由调度中心控制管理装备了高精度定位能力的车辆，为每

车辆指定装载机的位置和运输路线，车辆通过接收无线指令以合适的速度按照目标路线运行。

②卡车由导航定位系统、调度中心控制装置无线指令和其他导引装置来确定车辆在矿山的准确坐标并了解周围的情况。

(8) 智慧应急管理系统

①安全监测预警系统（边坡监测、视频监控、人员定位）
系统建设内容如下：

a.监测子系统：采用一台智能全站仪与监测点目标（照准棱镜）及上位控制计算机形成变形监测系统，可实现全天候的无人值守监测，其实质为极坐标自动测量系统。系统可自动采集、传输和处理变形点的三维数据。利用因特网或其他局域网，可实现远程监控管理。

b.高清视频监控：采集模式为高清数字摄像机-硬盘录像机-PC 客户端，实现对边坡面的实时视频监控，能对监控图像进行实时存储，具有回放、录像以及预置位功能。通过现场摄像头实时拍摄并传输至调度室显示屏上，直观显现边坡运行情况。在边坡面具有代表性的或重要区域设置视频监测点，对实时监测区域实施视频影像监测；针对不便于线路架设的视频监控区域，采取风电互补的清洁能源供电技术与无线网桥传输技术，有效扩展视频系统的范围。

c.降雨量监测：通过对监测点的雨量阈值进行分析计算，确定滑坡的临界雨量范围，降雨达到临界雨量，自动发布滑坡警报。

d.红外入侵告警系统：在采场边坡平台入口位置建设红外入

侵监测高分贝语音告警系统，当有人、车闯入未经许可入口时，可高音警报提示，同时邻近摄像头切换到预设位实时监控，并将报警信号回传至监控中心。

③双重预防信息化系统

双重预防信息化系统涉及矿山安全管理方面，涵盖风险分级管控及隐患排查治理。主要包括前期准备、划分风险评估单元、辨识各类危险源、风险评估、风险分级管控、安全风险公告、隐患排查、隐患分级、隐患治理等。通过信息化手段，实现企业资质证照智能分组、过期自动提醒，以及危险源点的实时监控预警、自动评估、智能分析、综合判断等功能。

④矿用安全设备全生命周期监测系统

矿用安全设备全生命周期监测系统通过对矿用安全设备数据采集、分析统计，实现设备选型、采购计划、投产使用、在线盘点、监测分析、故障预警、巡检维修和报废再生的全生命周期进行闭环管理，使矿山能够实时掌握每台设备在开采区、井下巷道或库房等区域上的位置信息，为管理决策提供精准有效的数据依据。

系统包含以下功能：设备管理、感知数据在线监测、设备故障预警、设备全生命管理、移动 APP 端。

(9) 矿山生产综合管控平台

建设智能管控中心，构建多业务、多系统一体化、可视化高度融合的智能综合管控平台，支持多种通信协议，将矿山生产、

安全等多源异构系统数据进行采集、集成，让矿山运营透明可视、资源调度快速有序、生产安全高效协同，提升矿山运作效率和整体产能。

5. 应用案例

郎溪县兴盛矿业有限责任公司姚家塔萤石矿位于郎溪县南部姚村乡，矿区萤石矿开发利用历史悠久。开采矿种为萤石（普通）矿，开采方式现为露天开采，生产规模4万吨/年。

目前矿山已建立了安全监测监控系统、露天采场人员定位系统、供水施救系统、露天采场通信联络系统等数字化系统；目前未建立数字化资源储量模型与经济模型，未达到精准化管理的目标。

6. 技术难点

（1）由于小型露天矿山产能规模较小，使用的铲、装、运设备普遍小型化，自动化或智能化改造主要以大型装备为主，小型装备改造成本相对较高。

（2）小型露天矿山总体作业人员少，矿山智能化技术人才缺乏，没有智能矿山系统建设、运营、维护等专业人员，管理力量相对薄弱，作业效率相比大中型矿山低。

7. 措施建议

（1）加大研发小型铲、装、运智能化装备力度，降低小型智能化装备成本。

（2）通过智能化软件管理平台，构建小型露天矿山管理机

制，以国内先进的技术要求为导向，构建人才线上共享机制或与第三方机构建立智能化技术合作管理模式，将小型露天矿山管理人才匮乏的缺陷进行合理化弥补，加快行业发展技术的快速推广步伐，简化小型露天矿山管理层级，最终达到提升小型露天矿山智能化管理效率及管理水平的目的。

四、大型地下矿山数字化智能化转型典型路径方案

1. 适用范围

本项转型路径适用于安徽省内大型非煤地下开采矿山数字化智能化建设和管理。

2. 总体框架

以大型地下矿山、选厂现状为基础，以全面实现矿山技术、生产、安全、管理全作业链信息化智能化为目标，智能矿山建设基本架构主要分五层，分别为感知执行层、网络传输层、数字平台层、应用开发层、运营展示层。

感知执行层负责实现各子系统数据的感知与采集，同时对执行设备下发控制指令。网络传输层由 WiFi 网络、有线接入、4G/5G/WiFi6/专线等系统组成，负责信息和数据的双向传送。数字平台层向下实现各种多源异构感知数据的接入，向上为智能矿山应用层的开发提供服务和工具。应用开发层为用户提供实际使用到的涉及矿山生产、安全、经营管理、决策分析各环节的各类操作软件及工具。运营展示层主要包括移动端、PC 端、综合展示大屏等功能，方便指挥和管理人员远程操控、精准调度。

Level5	运营展示层	移动端		PC端		大屏端	
Level4	应用开发层	地质资源	测量管理	采矿设计	智能爆破	...	
		掘进机械化	智能运输	采矿机械化 自动化	提升自动化	...	
		通风自动化	充填自动化	供配电自动化	排水自动化	...	
		压风自动化	智能监测	智能选厂	智慧管理	...	
Level3	数字平台层	大数据	视频	AI	IoT	GIS	融合通信
Level2	网络传输层	WiFi网络		4G/5G/WiFi6/专线		有线接入	
Level1	感知执行层	摄像头	定位装置	控制/执行设备	传感器	其他设备	

图 7 大型地下矿山数字化智能化总体架构

3. 技术要求

根据矿山不同类型及发展阶段，大型地下矿山经过 3~5 年的技术及装备改造提升，应实现井下装备机械化、智能化和管理信息化、数字化，在系统化、平台化方面，能够系统集成，各子系统之间能够有效兼容。

矿山应首先进行智能化矿山建设方案规划设计，然后按设计方案进行网络信息化基础设施建设，并对各子系统进行改造升级及相关软硬件设备设施的安装调试，预计建设周期 4 年左右，总资金投入在 4800 万元左右。智能化投入根据矿山的改造项目数量、矿山的规模以及系统情况有所差异。建设项目、建设内容、资金投入、建设周期如下表所示。

表 4 大型地下开采矿山数字化智能化转型路径

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
1	基础设施	通信系统设施：含有线、无线环网	硬件400万	5个月
2		数据中心与服务：含数据存储及机房	软件150万	
3	地质资源	地质资料数字化	硬件60万 软件100万	6个月
4		地质管理一体化		
5		三维地质建模		

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
6		资源储量估算评价与动态管理		
7		水文地质监测		
8		测量信息采集		
9	测量管理	测量数字化管理	硬件60万 软件50万	3个月
10		测量三维模型构建		
11	采矿智能设计	完成井下巷道设计，构建设计模型	硬件50万 软件110万	3个月
12		实现采准、切割、回采设计和地下爆破设计		
13		矿体、巷道模型、品位模型等进行计划编制		
14	智能爆破系统	智能化炮孔设计	硬件50万 软件90万	3个月
15		工作臂远程（视距）无线遥控及自动寻孔		
16		爆破工艺信息化管理系统		
17	掘进作业 机械化	巷道掘进和出渣采用机械化设备	硬件250万 软件70万	4个月
18		巷道撬毛作业实现机械化		
19		支护采用锚杆台车		
20		喷浆采用喷浆机械		
21		掘进爆破装药机械化		
22		天溜井施工使用机械化、智能化设备		
23	掘进设备信息实时采集、监测			
24	采矿作业 机械化自动化	铲装作业远程遥控或自主作业	硬件400万 软件150万	4个月
25		凿岩作业远程遥控或自主作业		
26		回采作业远程遥控或自主作业		
27		实现地面远程遥控或自主作业		
28		采矿设备信息实时采集、监测		
29	运输系统机械 化智能化	矿山运输系统管控平台	硬件350万 软件150万	4个月
30		有轨电机车运输远程遥控或无人驾驶		
31		无轨汽车运输远程遥控或自主作业		
32		带式输送机运输自动控制与智能联动		
33		井下车辆实时定位、行车管理、车辆调度		
34	提升系统 自动化	主井提升智能装载、卸载及矿仓料位联动	硬件350万 软件150万	3个月
35		副井电梯式自助运行		
36		斜井具备常闭式防跑车装置		
37		钢丝绳在线监测		
38		提升系统数字化控制系统，实时信息采集		
39		智能综合保护系统，提升参数远程实时监测		
40	多套提升系统集中远程控制			

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
41	通风系统 自动控制	控制系统的远程和就地控制功能、无人值守自适应控制	硬件150万 软件120万	3个月
42		建立智能通风模块，具备通风解算功能		
43	供配电系统 自动化	搭建变配电自动化集控平台	硬件120万 软件90万	3个月
44		供电设备监测数据采集、上传、分析		
45		供电系统故障诊断、预警		
46		井下变电所设置电力监控系统，电量实时监测		
47	排水系统 自动控制	井下泵房远程集中控制	硬件100万 软件80万	2个月
48		排水泵相关参数实时监测及预警		
49		多级排水矿山融合联动、协同		
50	压风系统 自动控制	实现远程控制	硬件40万 软件60万	2个月
51		在线监测运行状态、参数		
52	充填系统 自动控制	集控室远程一键启停	硬件55万 软件40万	3个月
53		生产过程中在线监测、自动分析、故障自诊断		
54	选矿自动化 智能化系统	破碎过程智能化操作控制	硬件200万 软件110万	6个月
55		磨矿分级过程智能化操作控制		
56		选别过程智能化操作控制		
57		浓缩脱水过程智能化操作控制		
58	智慧应急管理 系统	矿山智能AI视频分析系统	硬件300万 软件215万	6个月
59		有毒有害气体实时监测预警		
60		水害实时动态监测、预测、预警		
61		火灾防治智能预测、预警		
62		地表沉降监测系统，实时自动上传		
63		地压监测系统，实时自动上传		
64		隐蔽致灾因素普查、灾害治理		
65		双重预防信息化系统		
66		矿用安全设备全生命周期监测系统		
67	矿山生产综合 管控平台	实现矿山生产、安全、设备、管理等综合管控	硬件30万 软件100万	3个月

注：由于各矿山工艺特点、生产规模、开采矿种、装备应用等存在差异性，以及智能矿山技术更新迭代，表格中智能化资金投入及建设周期仅供参考，部分项目可同步进行建设。

4. 技术功能特性

(1) 基础设施

①基础网络

综合规划建设办公网、监控网、控制网及其他高速工业网络，支持数据采集、信息管理、视频监控、安全监测等信息化应用，保障数据安全可靠传输。

a.工业网

工业环网带宽：要以矿山工业环网所承载业务及数据流量为分析基础，同时考虑未来井下无人驾驶等智能化网络业务的扩展性。地表环网为千兆。

组网方式：采用环形或双环形组网技术和环间耦合技术，以实现传输链路或网络节点故障时，环网自动切换，对于时延要求高的设备可独立成环。

性能要求：网络建设具有高可靠冗余性；汇聚交换机与核心交换机实现万兆 OSPF 和线路冗余，支持三层路由功能；搭建设备监控、告警和展示平台，满足现有节点（网络设备），必须满足结合物理位置展示逻辑拓扑及连接情况，提供所需的软硬件平台，历史故障及告警信息可追溯、可查询；建设统一、高效、实时、稳定、安全的现场生产控制网络；实现主千万兆环网冗余，支路千兆网络带宽；冗余环网切换时间小于 20ms，支持冗余环间耦合。数据传输速率范围 10/100/1000/10000Mbps；支持 QoS 机制，可读取 IEEE802.1p/1Q 第二层 QoS 标签和第三层 TOS 信息，使重要数据能如期、持续地传输；全面支持工业网络必需的时钟同步 SNTP（简单网络时钟协议）功能，全网时钟统一，实时性高；支持多种级别的安全特性，实现整个网络的安全部署。普通人员可以查看不可更改交换机配置，而管理员则可以修改交

交换机的配置，避免交换机的配置被非法修改。

b.办公网

办公信息网带宽：要充分考虑私有云以及云桌面业务承载能力需求，集中管理简化运维的能力需求，要能够满足业务拓展。

组网方式：采用以数据中心机房为中心节点的扩展星型拓扑结构网络。

网络硬件：采用核心交换模式，由三层网管型交换机承担核心数据交换功能，并根据需要设置数台二层交换机提供全矿数据信息的核心交换功能。

因特网（Internet）接入与应用：使用专线方式接入双因特网线路，保证办公系统和财务、生产、管理、设备等资料信息的查询和交流等业务。

网络运维：要集中管理简化运维，能通过网关系统提供网络设备的统一管理，并配合相应软件模块实现网络健康监测，协助管理人员进行故障排除。

c.网络安全

在工控网络安全防护系统设计、实施过程中，建立等级保护深度防御体系，对计算环境、网络边界、通信网络、用户和数据进行全面加固。以《网络安全技术网络安全等级保护基本要求》（GB22239-2019）为依据，按照《网络安全技术网络安全等级保护安全设计技术要求》（GB25070-2019），建设符合矿山需要的安全计算环境、安全区域边界和安全通信网络。

②数据中心

建立与矿山规模及信息化水平相适应的安全、开放、数据易于获取与高效处理的企业数据中心，为矿山应用提供基础环境支持。

a. 机房硬件

数据中心建设标准不低于《数据中心设计规范》(GB50174)中 C 级标准。数据中心网络安全建设应满足相应网络安全等级保护要求。不间断电源系统应有自动和手动旁路装置，且其容量至少为负载的 1.2 倍。数据中心安全防范系统宜采用数字式系统，支持远程监视功能。数据中心的核心基础设施宜按容错系统配置，在电子信息系统运行期间，基础设施应在一次意外事故后或单系统设备维护或检修时仍能保证电子信息系统正常运行。

b. 数据采集

数据采集系统应实现生产运营基础数据的在线、自动采集，采集范围应包括环境、资源、生产、设备、能源、质量、安全、运营管理等领域。数据应具备编码、时间、空间、关联、隶属等统一规范，便于数据共享与信息融合。

数据采集系统应统一建立数据服务系统，支持实时数据、关系数据以及非结构化数据的集中存储、管理和存取服务，并实现容灾备份功能。

(2) 地质资源管理

① 地质资料数字化

a. 实现勘察报告、核实报告、生产勘探报告等地质资料及其附件图表的电子化存储。

b. 电子化地质资料应实现多部门、多终端的异地实时更新、审阅、维护、发布和应用，数据的输入和输出应具有可追踪性。

②地质管理一体化

a. 各类地质数据应建立相应的数据库实现持久化存储，应采用专业软件实现数字化管理。

b. 应建立取样、制样、化验资料和数据的综合管理平台，统一规范取样、制样、化验工作流程，实时共享爆堆和化验数据，实现地质与生产过程一体化管理。

③三维地质建模

a. 应实现矿产资源储量三维可视化、数字化管理和动态管理，可直观反映矿床的形态、产状、厚度、品位的三维空间分布规律。

b. 应能进行工程量计算和三级矿量计算。

c. 应能进行中长期采掘计划和短期采掘计划编制。

d. 应基于生产探矿数据或钻孔岩粉数据动态更新三维地质模型和块体模型。

④资源储量估算评价与动态管理

a. 利用资源量模型和储量模型进行资源量和储量的估算评价。

b. 利用资源量模型和储量模型按照不同需要输出资源量和储量报告数据。

c. 资源量模型和储量模型应随勘探和生产数据的变动及时更新。

d. 资源管理系统应可历史回溯矿山资源量和储量动态变化

情况，实现动态跟踪管理。

⑤水文地质监测

a.矿山应实现水文地质资料数字化，主要内容为采空区、地下水环境、地表水环境、土壤环境及地形地貌景观等。

(3) 测量管理

①测量信息采集

矿山测量信息采集和传输应采用现代数字化、遥控测量技术及设备，包括手持 RTK、无人机、三维激光扫描仪等。

②测量数字化管理系统建立

测量工作应实现数字化管理，实现测量数据采集、存储、处理、统计以及图形化展现，应具有行业通用数据输入、输出接口。

③测量三维模型构建

矿区地形、地面建筑、采空区、地质体、探矿工程、坑内工程、生产掘进工程等测量成果应实现三维可视化管理，三维模型应用于生产管理。

(4) 采矿智能设计系统

①通过参数设置完成井下巷道设计，根据设计参数计算工程量，生成设计模型。

②对于地下开采，通过设置参数完成炮孔布置、炮孔装药、爆破量计算，实现完善的采准、切割、回采设计和地下爆破设计。

③根据矿体、巷道模型、品位模型等数据进行计划编制，支持在三维可视化环境下根据工程类型、施工条件等对计划进行动态更新。

（5）智能爆破系统

在地下开采“钻、爆、装、运”的四个主要生产环节中，爆破的机械化、自动化、智能化水平远远落后于其他几个环节，已经成为制约矿山生产能力提高的瓶颈。因此，大力发展地下装药的机械化、自动化、智能化，是地下装药智能化的发展方向。

地下矿用智能装药车主要由铰接式底盘、乳化基质储存及其输送系统、敏化剂储存及其输送系统、履带式送管器、输药管卷筒、五自由度工作臂及遥控器、液压系统、控制系统、图像识别系统、自主行驶系统和动态监控信息系统等组成。

地下矿用智能炸药装药车的核心技术，主要包括车辆自主行驶及避障技术、工作臂远程（视距）无线遥控及自动寻孔技术、输药管自动送退管及炮孔底部识别技术等。

（6）掘进作业机械化

非煤地下矿山井巷掘进包括竖井、平巷（斜井、斜坡道）、天井（溜井、上山）掘进作业，根据矿山生产规模、建设基础和开采条件和生产工艺流程，对井巷掘进作业过程中机械化、自动化、智能化建设提出相关要求。

通过优化生产工艺，积极引进现代化掘进凿岩台车、装药台车、伞形钻架、抓岩机、天井钻机等机械化装备在矿山井巷掘进作业中的应用。推动地下非煤矿山采掘机械化建设步伐，提高装备水平，改善作业条件，最大限度减少井下作业人员，提升矿山本质安全水平。

①竖井掘进机械化建设

新建矿山和生产矿山新增系统工程中的竖井掘进，应采用伞形钻架、抓岩机等机械化装备，并配套自动排渣设备，代替人工凿岩、出渣，实现竖井掘进机械化作业。其中，稳定岩层可采用HK型靠壁式抓岩机；破碎岩层可采用中心回转式或环形轨道式抓岩机。当条件受限时，可采用基于环形钻架的支腿式凿岩机。

②平巷（斜井、斜坡道）掘进机械化建设

平巷（斜井、斜坡道）凿岩应全面推广应用轮胎式、履带式、轨轮式掘进凿岩台车。出渣应采用铲运机、矿用轮胎式装载机或矿用挖掘式装载机、铲斗装岩机、耙斗装岩机等装载设备，实现掘进、出渣机械化作业。

（7）采矿作业机械化自动化

非煤地下矿山采矿作业包含采矿凿岩、装药作业、出矿及放矿作业、二次破碎作业四个基本作业工序，根据矿山生产规模、建设基础和开采条件，对采矿作业工序中机械化建设提出相关要求。

积极推广采矿台车、凿岩台车、装药台车、无轨铲装设备、振动放矿机、破碎台车或固定式破碎机等机械化装备在矿山采矿作业中的应用，推动地下非煤矿山采矿作业机械化建设，提高装备水平，改善作业条件，最大限度减少井下作业人员，提升矿山本质安全水平。

①采矿凿岩机械化建设

采矿凿岩应全面推广采用轮胎式、履带式凿岩台车、采矿台车等机械化设备；条件受限时，可采用钻架式或立柱式潜孔钻机

进行采矿凿岩。

②装药作业机械化建设

对于孔深 $>5\text{m}$ 的深孔装药宜推广采用井下装药台车，如：井下现场混装粒状炸药车、井下现场混装重铵油炸药车、井下现场混装乳化炸药车；条件受限时，可采用 BQ 型、BQF 型等风动装药器装药。

对于孔深 $\leq 5\text{m}$ 浅孔装药作业，可采用井下装药台车或 BQ 型、BQF 型等风动装药器装药。条件受限时可采用人工药卷装药。

③出矿作业机械化建设

出矿作业应推广采用电动铲运机、内燃式铲运机、轮胎式装载机等无轨设备。当有轨设备出矿时，可采用矿用挖掘式装载机、铲斗装岩机、耙斗装岩机等装载设备，全面取代人工扒渣作业，实现机械化出矿作业。

④二次破碎作业机械化建设

在井下回采或巷道的无轨作业面，应采用履带式或轮胎式等移动式破碎机进行二次破碎；在矿仓、溜井口格筛处设固定式破碎机进行二次破碎；条件受限时，可在作业现场采用凿岩爆破方式进行二次破碎。

（8）运输系统机械化智能化

矿山运输系统和运输方式应结合矿床条件、开拓系统、采矿方法、开采规模、生产服务年限、运输设备发展现状等原则确定。通过优化生产工艺，提高装备水平，逐步实现有轨机车、无轨自卸汽车、带式输送机等主运输系统自动化，改善作业条件，最大

限度减少井下作业人员，提升矿山本质安全水平。

①矿山运输系统管控平台

a.建设生产运输管理平台，包括调度系统、机车远程驾驶平台、机车装载控制系统、生产运输精细化管理等。

b.建设数据支撑系统，包括车辆移动通信网络、信集闭系统等。

c.建设生产状态监测系统，包括井下目标高精度定位系统、车辆运行监测系统、远程装矿监测系统等。

d.建设前端无人化作业系统，包括无人化电机车、远程放矿系统、轨道衡自动称重系统等，支持远程遥控驾驶和智能化无人驾驶，实现矿石品位配比、最优运力调度、机车无人驾驶、自动装载、矿石自动卸载、矿石自动称重、机车安全预警及生产数据精细化管理等功能。

②有轨电机车运输

有轨运输无人驾驶系统涉及有线及无线网络通信、井下机车精确定位、电机车自动驾驶和安全防护、远程遥控拟人化实现等关键技术，涵盖调度计划生成与自动执行、信易联锁与列车安全防护、矿石转运计量、有线网络及车地无线通信以及视频监控信息管理各个环节，是一套全面应用现代信息技术构建的多子系统相互融合的工业安全控制系统。

电机车无人驾驶平台通过光纤和无线网，将井上的控制室设备与井下电机车等有关设备相连，机车无人驾驶系统与井下信集闭系统、图像监视系统相结合，实现在控制室远程控制井下多台

电机车遥控或自动运输作业。系统具体组成如下：

信集闭系统：集中管理和显示井下信号、轨道和道岔等信息，自动对信号进行闭锁，指挥电机车运输作业。信号传输系统采用光纤主干网与无线网络相结合方式，此外还包括机车定位子系统、牵引变电所远程监控子系统。

机车无人驾驶系统：包括机车车载主机和控制室操作台、装矿远程遥控及自动控制子系统、电机车集电弓自动升降子系统、电机车驻车制动和气制动子系统、视频识别子系统，以及三维雷达辅助系统。

图像监视系统：在井下机车的车头前后、井口处、装卸矿处等重要部位安装高清夜视摄像头，将井下视频信号传输到井上显示。

系统功能主要是将井下机车的运行状态、监测参数、机车位置、动态视频、信号灯状态、道岔状态、轨道监控（信集闭）、调度指挥和视频监控等重要地点视频、装矿机状态、调度信息等直观地在控制室内上位机显示器集中监视。机车操作人员可根据上位机画面的反馈，通过上位机或操作台实现井下电机车的自动或遥控运行、远程遥控装矿等功能。

③无轨汽车运输

无轨运输系统利用自动化、智能化、网络化等各种先进技术，实现井下无轨运输装备的远距离遥控和无人操纵的全过程自主控制；通过车辆车载终端、5G通信及互联网系统、运营管理平台（云平台），完成对车辆及相关物料、人员等的采集、处理、

分析和统计，实现矿山对车辆、人员及物料等的监控、管理和调度。矿用无轨运输自动化系统主要包括无轨运输车辆调度系统和无轨运输车辆驾驶系统。

无轨运输车辆调度系统具有井下电子地图查看、运输车辆监控调度、井下警情处理、车辆数据查询以及车辆智能报表等功能，该系统基于巷道地理信息平台进行二次开发构建井下电子地图，通过 5G 实时定位技术，以及信标安放与位置识别，地面控制中心可通过监控软件管理终端方便地查询运输车辆当前位置及行驶状态，通过管理系统可实现对车辆的任务调度，可同时派遣不同车辆到不同目的地。管理人员可及时调度并管理派遣车辆，查看车辆是否完成任务。当车辆正常到达目的地时，管理系统会收到通知信息。

无轨运输车辆驾驶系统主要实现车辆的路径感知、自动循迹、检测监控、主动安防及无线网络控制。车载智能终端建设，将人员、车辆紧密结合在一起。远程监控车辆状态，确保车辆安全行驶。记录车辆运行、保养和维修等提醒信息，提高车辆利用率，感知车辆故障隐患，提高驾驶安全性。

④带式输送机运输

带式输送机运输自动化系统是基于计算机、通信网络、自动化、工业控制等技术，运用传感器对以胶带运输机为核心的运输系统设备进行控制、监测和保护。系统控制采用“集中室集中控制为主，就地操作为辅”的控制方式，根据硬件结构可分为管理层、控制层和设备层三级网络体系。系统主要由上位机、PLC 控

制主站与分站、变频器、就地控制箱、矿用网络交换机、阻燃光缆、阻燃电缆、矿用光纤、通信扩音电话、传感器和矿用摄像仪等设备组成。

系统的主要功能具体如下：

a.控制中心的显示屏显示现场环境及工作环境温度、带速等参数，通过上位机对大功率胶带运输进行变频调速，实现理想的定速运行。

b.当传感器或执行器的模拟量输出发生改变时，显示相应的数据，若出现如胶带打滑、现场烟雾浓度超标、设备温度过高等故障异常时，系统能够发出报警信号，显示相应的故障类型和地址，停止皮带运输生产，直到故障排除后，再恢复运行。

c.当系统保护传感器或执行器的开关量发生改变时，显示相应的故障类型和地址。当开关量故障异常状态时，系统发出报警信号，自动控制断路器执行断电；当故障排除，开关量正常后，解除报警并恢复运行。

d.在发生跑偏、撕裂、堆料等严重故障时，系统直接控制停车，在发生温度过高、烟雾过多等故障时，可编程控制器启动洒水装置对故障进行处理。如果此类故障持续恶化，可根据故障信息进行条件判定后停车，同时将故障信息传输至上位机。另外，还可以通过人工手动控制，对系统的皮带机、振动筛等设备进行断电。

e.针对大功率胶带，由于其运载量大，运行速度会因运输量的大小而波动，可能出现空载高速或满载低速的状况，浪费电能

且低效。系统利用模糊控制与变频技术调速，实现理想的定速运行，满足节约能源和适应生产的需要。

⑤其他辅助运输

地下运输除了机车、矿车、矿用汽车、带式输送机等主要运输设备及人车、材料车、油料车等服务运输和辅助作业车辆外，还存在由其他辅助设备代替人工作业。

a.溜井放矿设备：应采用闸门放矿、振动放矿机、板式给矿机等设备。

b.卸矿设备：应根据矿车的型式进行选用，固定式矿车应采用电动翻车机或翻车架卸矿。侧卸式或底卸式矿车应采用相应的曲轨卸矿。

c.井口车场应使用推车机移动矿车，代替人工推车。矿车计量应安装动态电子轨道衡实现不摘钩、不停车自动连续称量。

d.皮带输送机运输应使用给矿机、电子皮带秤、电磁除铁器、胶带硫化器等。

(9) 提升系统自动化

目前我国生产和使用的提升机可分为单绳缠绕式和多绳摩擦式提升机两大类。为提高提升系统安全高效运行，提高作业效率，建设矿井提升自动控制系统。矿井提升自动控制系统一般采用双 PLC 控制，满足提升机电控设备相关规程规定。除完成绞车手动、半自动运行过程的逻辑操作外，通过高速计数器模块接收编码器发出的脉冲信号，精密计算并显示罐笼（或矿车）所处位置及速度，实现连续速度监控、逐点速度监控、井筒开关监控、

所有编码器之间的相互监控、重载下放监控、重载提升监控，完成对速度、位置和力矩的闭环控制和故障处理保护回路，实现精准停车，提供可靠的软减速点及超速、软过卷保护。

提升自动控制系统由电源柜、操作台、PLC控制柜、变频柜测速发电机、轴编码器、工业控制计算机、中段控制箱、通讯网络、检测仪表等设备组成。提升自动化系统辅助设施主要包括视频监控系統、设备监测系统、数据分析展示平台等系统。

为保证提升系统安全运行，须设置必要的保险装置，主要包括防止过卷装置、防止超速装置、过负荷和欠电压保护装置、限速装置、深度指示器失效保护装置、闸间隙保护装置、松绳保护装置（缠绕式提升绞车）、满仓保护装置（箕斗提升）、减速功能保护装置。

（10）通风系统自动控制

通风自动化系统通过主控计算机对每一台风机进行远程集中启停控制、正反转控制，对风机运行状态和风机电流、电压、温度、风量、风压、风速、有毒有害气体浓度等参数进行实时监测，实现控制系统的远程和就地控制功能、无人值守自适应控制，最终实现节能，高效，智能的控制要求。

①控制要求

a.主通风机实现一键式启动、反风、倒机功能，机房、控制室安装监控视频，实现实时监控、远程自动控制。能在线监测运行状态、风量、风压、振动、温度等工况参数，具备超限报警功能。

b.局部通风机开停实现远程监控、主备风机自动切换。全部配备性能可靠的低噪音局部通风机。

c.主要风门设置风门开关传感器，单轨吊机车风门、风压较大行人联络巷风门应实现自动化监控。

d.局部通风机自动启停和地面集中控制，宜具备调速功能。鼓励有条件的矿山企业对主扇、局扇及辅扇进行联动控制，实现按需通风。

②功能要求

风机自动控制系统通过通信光缆将位于地面调度室的主控计算机与置于风井的 PLC 相连，形成通信网络，从而通过主控计算机对每一台风机进行远程集中启停控制、正反转控制，对风机运行状态和电流、电压、电机温度、风量、风压等参数进行实时监测。

③设备要求

现场仪表主要包括风量风压检测仪、风速传感器、温度传感器、湿度传感器、CO 探测器、振动传感器、电流变送器等，仪表选型要求耐腐蚀、防潮、适用于井下环境，防护等级 IP65 及以上，满足现场使用要求。

(11) 供配电系统自动化

井下各高压配电站设有独立的电力自动化系统，可实现本站的继电保护及安全自动装置保护、数据采集及处理、系统通信及接口、远动及设备管理、系统自诊断、直流及所用电源监视、“五防”闭锁等。

在地表总降压站（调度中心）搭建变配电自动化集控平台，由其直接供电的变（配）电站及二级配电站设监控子站，各级监控站根据配电网的构成，形成电力系统的监控网络。对地面箱式变电站、井下变电所、采区变电所、线路等变输配系统和设备进行在线参数检测，实现地面调度中心对供电设备的遥测、遥调和遥控。矿山企业实时监控各开关柜的电压、电流、功率等参数及开停状态，采集本配电站的电力数据并上传至集中监控站，实现故障自动检测、定位、预警，通过加装烟感和电缆温度检测系统提高安全生产水平，实现高压、低压供电管理无人值守。

各个接入平台的变电所进线、主变等保护、测控及自动装置直接接入网络，其他第三方设备如直流屏、火灾报警系统、电能量采集系统等通过规约转换装置接入网络。设置光交换机并经过前置机接入子站数据信息，实现数据通讯。各子站的视频信号通过独立的网络接入本变电所。

矿区变配电自动化集控平台与上级调度的通讯方式由地区电网公司确定，调度管理原则根据地区电网调度管理权限确定；配合上级电力公司电调实现 SCADA 基本功能和应用功能；远动系统完成数据的采集、数据传送、接收和预处理，并与系统数据子系统以及人机交互子系统协同完成监测任务；通信规约与远动信息配置按照地区电网要求。

（12）排水系统自动控制

排水自动化系统是根据排水控制要求，排水泵房设计安装自动控制系统一套，运用 PLC 系统控制技术和在线监测、智能管

控技术，实现对水仓水位，水泵流量、排水压力、负压（真空度）、轴温、阀门状态、运行效率，电机轴温、定子温度、电压、电流、电耗、功率、运行效率等参数自动运行监测、智能控制、远程监控等功能，实现单台水泵和多泵联排的远程启停和就地控制功能。同时，对涌水量进行监测，可分段、分区监测，后台数据汇总，达到泵房安全高效运行目的。在集控中心实现井下排水系统监测与控制。

排水自动化系统由泵站排水自动控制系统和视频监控系统组成，控制系统具有完善的保护性能，能够满足矿山安全规程的规定和普遍采用的安全措施。设计系统分为上位机和就地控制两部分，上位机由工业控制计算机等设备组成，就地控制由控制箱、控制分站、仪表设备等组成。井下与控制分站之间的通讯采用光缆通讯方式，监控系统与控制系统单独通讯。

（13）压风系统自动控制

压风自动化系统是根据井下供风要求，设计安装自动化控制系统，实现空压机及冷却系统自动联动控制，空压机的故障诊断、监测预警、负荷调节、电量计量、能耗分析，按程序自动切换运行、无人值守管理等功能。压风自动化系统由压风机自动控制系统和视频监控系统组成，控制系统具有完善的保护性能，能够满足矿山安全规程的规定和普遍采用的安全措施。

各种类型的空压机根据井下供风需求按照启动流程、峰谷平自动启停或者定时启停空压机。供风需要时，空压机状态自检完成后开启冷却循环设备，达到空压机启动条件时开启空压机，出

口压力达到定值后，打开储气罐阀门为井下生产供气，实现按需自动启停一台或多台空压机，完成空压机的自动加卸载控制。实现空压机及冷却水泵自动轮换功能；实现对排气温度、电机定子温度、冷却水温度超温报警，冷却水压力、润滑油压力、冷却水断水、过载停机、电源逆相、缺相保护、超过最大工作压力安全阀动作、空气过滤器堵塞、油过滤器堵塞、油气分离器堵塞等故障的自动报警功能；具备远程启停和就地控制功能。达到自动轮换开停、故障自动倒机、定时自动倒机和一键倒机控制要求。达到节约能源，降低劳动强度，实现空压机房的无人值守和自动供风。

（14）充填系统自动控制

充填自动控制系统是根据充填生产工艺要求，运用 PLC 系统控制技术和在线监测、智能管控技术，实现充填生产的自动运行、智能控制、数据分析、风险预判、远程监控等功能，达到充填系统安全、高效、智能运行的目的。在集控中心完成“遥控”、“遥信”、“遥测”，实现充填系统自动化、智能化、现场无人的目标。

充填自动控制系统由工业控制计算机、程序控制柜、就地控制箱、传动设备、通讯网络、检测仪表、控制调节阀门等设备组成。通讯网络主要有通讯连接器、网络交换机、网桥等。

（15）选矿自动化智能化系统建设

①破碎过程智能化操作控制

通过破碎全流程视频监控、基于矿石块度图像分析等技术实

现故障报警，实现破碎过程的智能化操作，降低破碎停车故障，提高破碎运行效率。

②磨矿分级过程智能化操作控制

结合矿石块度图像分析、磨机负荷和分级粒度检测技术、磨机衬板磨损在线检测技术等，建立磨矿分级专家控制系统，实现磨矿分级的智能操作和分级粒度的闭环控制，稳定磨矿分级产品粒度、浓度技术指标，减少波动。

③选别过程智能化操作控制

面向浮选、磁选、电选等选别生产过程，结合在线品位分析、在线矿浆监测和机器视觉图像分析技术等，建立智能浮选机、智能高梯度磁选机等选别全流程智能协同控制系统，实现选别流程稳定控制和优化控制。稳定选别精矿品位，降低废次，优化提高回收率。

④浓缩脱水过程智能化操作控制

基于浓密过程智能监测技术，结合操作经验、机理变化趋势及生产数据分析，形成浓缩脱水专家控制规则库，实现浓密机底流排矿优化与节能控制，提高浓密机底流放矿浓度，实现浓密与脱水过程峰平谷优化调度。

（16）安全监测监控系统

①矿山智能 AI 视频分析系统。

该系统的核心是 AI 图像智能识别技术，通过实时分析摄像机采集的实时视频图像数据，能够自动识别人员、设备、环境的各种状态和异常情况。如果发现异常情况，系统将立即触发报警

事件，并自动记录抓拍图像和生成带有标记框的视频文件，以便后续查看和处理。

矿山智能 AI 视频分析系统具有以下主要功能：

a. 视频智能监测

智能 AI 视频分析系统支持对矿山视频进行智能监测，包括视频联网状态的查看、全矿视频监控的查询、单路视频的点播等功能。同时，系统还提供视频与告警关联查询功能，使用户能够迅速了解告警事件的现场情况，为快速响应和处置提供有力支持。

b. 告警管理与处置

系统实时推送最新告警信息至移动端，并展示告警详情，确保相关负责人能够迅速获取并进行处理。系统还支持督办处置功能，使得监管部门可以查阅和跟踪督办事项的处理情况，确保安全生产得到有效监管。

c. 风险闭环管理

系统提供全面的风险闭环管理功能，支持在移动端查看告警信息详情，并根据告警级别进行分级推送。相关负责人能够核实告警信息，填报告警处置状态，并上传处置结果，形成完整的风险处理闭环，有效减少安全事故的发生。

矿山智能 AI 视频分析系统基于矿山现场摄像仪的实时视频数据，运用 AI 智能识别技术和机器学习模型进行风险分析。系统部署策略灵活，支持快速调整、扩容和异常恢复。同时，系统具备视频智能分析的高度集成性，支持便捷的分析配置和算法

配置。此外，系统还支持自定义报警信息定义、联动控制、视频展示与轮询、组合报警等多种功能，满足矿山安全管理的多样化需求。

②有毒有害气体实时监测预警

通过接入监测监控系统数据，感知井下各个作业系统的氧气含量、烟雾、一氧化碳、二氧化氮、硫化氢等浓度情况。矿山接入粉尘实时监测系统，实时监测地表、井下等作业环境中的粉尘浓度，准确获取粉尘浓度数据。通过对采集到的数据进行分析，可以发现规律和趋势，帮助矿山制定更有效的粉尘防控措施。粉尘实时监测系统可以设置预警功能，当环境中的粉尘浓度超过设定的阈值时，系统会自动发出警报，提醒工人采取相应的安全措施，避免工人长时间接触高浓度粉尘而导致健康问题。

③水害实时动态监测预测预警

井下水害监测系统作为大水矿山智能矿山建设的一部分，需结合矿区已知的水文地质条件及充水因素，针对地表水、海水、岩溶水、裂隙水、陷落柱及老窑水害评价的现场条件，设计矿井水害预测预报系统。系统主要由主机、UPS 电源、水压和流量传感器及检测仪、温度传感器、通讯电缆等部件组成。可按现场需求增加对不同水平、不同工作面水位、水量、水温等变化量的实时监测。需满足设备开停自动化、故障检测自动化、异常报警自动化，真正做到井下监控设备的无人值守，实现系统的自动化运行和远程控制。

系统分为井下和地面两部分。井下部分主要由各种智能传感

器、监控分站、防爆电源、工业以太网络及监控计算机组成，分布在各测点的智能传感器完成涌水量、水仓水位、钻孔水压、防水设施变形等的测量，并通过公共传输线路将测量数据发送给监测分站，再由监控分站通过工业以太网传至地面监控计算机，实现集中处理、存储、报警。报警信息既被送给井下声光报警器，提醒井下人员采取相应的行动，又通过手机模块以短信形式发送至有关人员手机。监控计算机具有网络服务器功能，即可通过浏览计算机网页查询全部监测内容。各类传感器一般会受环境温度影响，为掌握影响程度，进行温度补偿，所有智能传感器都应装有温度传感器。温度传感器还可用于测水温。

④火灾防治智能预测预警

井下火灾防治智能预测预警系统是一种集成多种先进技术的系统，旨在预防、监测和应对井下火灾事故。该系统主要组成部分和功能如下：

监测与数据采集：系统通过部署在井下的各种传感器，实时监测环境参数，如温度、烟雾浓度、气体成分等。这些数据被定期或实时地收集并传输到中央处理单元。

数据处理与分析：中央处理单元对收集到的数据进行处理和分析，利用算法和模型识别潜在的火灾风险。例如，系统可以检测温度或烟雾浓度的异常升高，这可能预示着火灾的发生。

预警与报警：一旦系统检测到潜在的火灾风险，将会触发预警机制，向相关人员发送警告信息。如果风险持续升级或达到危险水平，系统会启动报警程序，发出更强烈的警报并采取相应的

紧急措施。

自动化控制：系统可以与井下的安全设备和设施进行集成，实现自动化控制。例如，在检测到火灾风险时，系统可以自动启动通风系统以降低氧气含量，或关闭电源以防止电气火灾的蔓延。

可视化与决策支持：通过用户界面，系统可提供实时的数据可视化和监控画面，帮助管理人员了解井下情况并作出决策。此外，系统还可以提供历史数据和趋势分析，以支持长期的安全管理和改进。

应急响应与救援支持：在火灾发生时，系统可以提供应急响应和救援支持。例如，其可以提供逃生路线和避难所的位置信息，协助人员疏散。同时，系统还可以与外部的救援机构进行通信和协调，提供必要的信息和支持。

⑤地表沉降监测系统

矿山在生产过程中会形成采空区，采空区如果不及时充填，可能会造成地表塌陷。在可能发生地质灾害的区域结合水文地质条件，合理布设监测点，形成整体的地质灾害监测网，监测系统能够实时显示监测点的变化情况，如位移量、位移速度、加速度、位移矢量图等；监测系统提供预警功能，针对紧急情况下的抢险救援工作可以提供有效数据依据，确保危险区域发生灾害前及时有效的应急响应；系统支持进行多级报警，通过多种方式将报警信息发送给相关责任人，进一步预测灾害的发生趋势。

在监测目标附近建立观测网，观测网有基准点和观测点，采用 GNSS 现场实时在线监测和地表水文观测孔进行监测。根据

每次测得的沉降观测点的高程，绘制成每点的每次高程变化曲线，根据变化曲线分析地表沉降变化、沉降规律和沉降速度；根据每次测得的沉降观测点的坐标，绘制成每点的每次位移变化图，根据位移变化图分析地表沉降的发展方向和发展速度。根据分析结果采取措施，出现大面积区域内的观测点出现较大高程变化和位移变化时要及时发出预警，疏散人员，防止重大事故发生。

⑥地压监测系统

地压在线监测预警系统是采用综合传感器技术、电子技术、信息技术、通信技术、计算机技术、网络技术等多学科手段进行自动监测及预警的系统。其主要功能和应用如下：

该系统可完成深部地压监测信息的自动采集、存储、网络分发、预警显示等功能，实现信息化、实时化、网络化，让管理人员能及时直观地掌握井下深层地压安全参数的实际动态。通过布置在井下的各种传感器，如应变计、位移计、收敛计、测缝计等，系统可以实时监测岩石的应变、位移、收敛以及裂缝的变化等地压相关参数。

井下地压在线监测预警系统通常提供多种监测手段，如深层应力监测、断面收敛监测和微震监测等，以全方位地评估地压状态。当监测数据出现异常或超过预设的安全阈值时，系统会触发预警机制，及时向相关人员发送警告信息，以便他们采取相应的措施来防范潜在的地压灾害。

⑦隐蔽致灾因素普查、灾害治理

实现对矿山基础信息、普查成果、地勘工程、生产建设工程、

灾害防治等成果资料及图纸的动态实时监测管理。

⑧双重预防信息化系统

双重预防信息化系统涉及矿山安全管理方面，涵盖风险分级管控及隐患排查治理。主要包括前期准备、划分风险评估单元、辨识各类危险源、风险评估、风险分级管控、安全风险公告、隐患排查、隐患分级、隐患治理等。通过信息化手段，实现企业资质证照智能分组、过期自动提醒，以及危险源点的实时监控预警、自动评估、智能分析、综合判断等功能。

⑨矿用安全设备全生命周期监测系统

矿用安全设备全生命周期监测系统通过对矿用安全设备数据采集、分析统计，实现设备选型、采购计划、投产使用、在线盘点、监测分析、故障预警、巡检维修和报废再生的全生命周期进行闭环管理，使矿山能够实时掌握每台设备在开采区、井下巷道或库房等区域上的位置信息，为管理决策提供精准有效的数据依据。

系统包含以下功能：设备管理、感知数据在线监测、设备故障预警、设备全生命管理、移动 APP 端。

（17）矿山生产综合管控平台

建设智能管控中心，构建多业务、多系统一体化、可视化高度融合的智能综合管控平台，支持多种通信协议，将矿山生产、安全等多源异构系统数据进行采集、集成，让矿山运营透明可视、资源调度快速有序、生产安全高效协同，提升矿山运作效率和整

体产能。

5. 应用案例

(1) 中国铝业集团有限公司普朗铜矿

2021年5月至6月，普朗铜矿开展矿山生产智能装备、智能控制系统调试，5G智能矿山工业应用在矿山成功落地，实现井下穿脉内铲、运、卸矿作业自动化、智能化，成功打造了少人和无人生产作业全流程智能化解决方案，为采选尾工艺全流程控制和信息协同奠定了坚实基础。2021年7月，“中铝集团普朗铜矿5G智能矿山发布会”在昆明举行，标志着普朗铜矿成为全国首个实现5G工业应用的有色金属地下矿山。

普朗铜矿依托生产流程“矿石流”主线，以“1张5G矿山专网+1个矿山工业互联网平台+N类5G智能设备和智慧矿山应用”，将5G专网、5G智能装备、矿山工业互联网平台和智能矿山四个部分的生产要素全面连接，推进井下无人驾驶、井下定位、井下交通管理等的创新应用，有效提升了矿山生产的本质安全，实现降本增效。凭借5G工业专网的建成，普朗铜矿运用智能装备与控制技术，建立采选尾全流程的在线智能监控系统、无人驾驶运输系统、选矿全流程智能无人操作系统、长距离智能化尾矿输送监控系统，实现覆盖地质、采矿、选矿、动力、生产管理全过程的智能化生产线，最大限度降低采矿对生态环境的影响。5G技术在金属矿山的工业应用，提高了矿山的生产效率和作业安全。建成后的5G+铲运机无人驾驶系统，实现井下穿脉内铲矿、运矿、卸矿作业自动化、智能化，无需人工穿脉内操作。在普朗

铜矿明亮整洁的地表远程控制中心，员工在电脑操作平台前熟练操作铲运机进行矿石铲装运输，井下实时传回的视频声音清楚、画面清晰，整个操控过程信号稳定顺畅，实现了井下穿脉内铲矿、运矿、卸矿作业全过程精确感知、精准控制，降低了生产安全风险，改善了员工工作环境。

普朗铜矿建设智能矿山，极大提升了矿山生产经营管理水平，提高了资源生产规模和质量，为员工创造了更加良好的作业环境，矿山的竞争力也在持续提升。普朗铜矿基于 5G 网络通过技术攻关，实现了一批自主可控人工智能应用，打破了国外技术垄断，在无人驾驶、数据传输等核心技术上取得了突破。随着智能化程度进一步提升，将进一步推进有色行业的安全生产并提高企业生产效能，形成一批本质安全、资源集约、绿色高效、自主可控、全流程少人无人、可推广复制的人工智能场景，带动有色行业实现高质量发展，辐射带动上下游产业共同实现产业创新升级。

下一步普朗铜矿将打造“全感知 + 全连接 + 全计算”的智能矿山模式，将其贯穿生产作业全场景。按照“网络先行、数据为基”的思路，基于“集团 + 企业”两级大数据平台和 5G 专网的云边端架构，依托国家新一代人工智能创新发展试验区的算力支撑，与国家新一代人工智能开放创新平台企业合作，拟在“有轨运输智能无人驾驶”、“溜井料位计智能检测”、“设备智能预测性维护”、“智能违章监控”等场景中开发 AI 算法、模型，并最终实现少人化、无人化、精益化，建成智能矿山。

（2）玉溪大红山铁矿

玉溪大红山在智慧矿山建设项目总体架构主要分为六块内容：数字矿山、能源管理、智慧采矿、安全管理、智慧选矿、数据决策。

数字矿山作为“数字云南展厅”矿山数字化代表，通过实时三维模型数据集中向外界展示矿业公司安全生产管理系统的总体概况。能源管控方面，实现了井下主扇风机、110kV 及以下变配电站、供排水泵房、轨道衡、汽车衡的集中控制，实现了无人值守、集中监控和阳光计量。智能采矿方面，实现了对井下机械化设备、1 台 6m³ 电动铲运机、5 台 10m³ 电机车、2 台旋回破碎机以及 4800m 胶带系统的远程实时管控。实现了铲运机无人驾驶系统、智能化有轨运输技术、基于 5G 技术深井矿山自动取样机器人、井下通风三维可视化管控平台、集中计量系统等。安全管理方面，实现了对井下 450 公里巷道的 226 个人员（车辆）监测点和 340 个气体监测点的在线监测，同时对车辆进行实时测速，还实现了对露天采矿 6 公里路面的喷淋降尘自动控制。数据决策方面，通过对底层数据的抓取整理，对数据进行深度挖掘和重点指标分析，形成了可视化的数据管理平台。

以上是数字矿山在安全生产管理、能源管控、智能采矿、安全管理、数据决策和智能选矿等方面的主要成果和功能。这些技术和系统的应用，能够提高矿山的生产效率、安全性和可持续发展能力，为矿业公司带来更多的机遇和价值。

（3）马钢矿业张庄矿

近年来，张庄矿围绕建设“安全、高效、生态、智慧”矿山的
企业愿景和贯彻“机械化换人、自动化减人、智能化无人”的工作
思想。以机械化换人、自动化减人、智能化无人为发展思路，全
面推进工业化、信息化和智能化的深度融合与集成。结合张庄矿
生产工艺流程，应用自动化控制、智能化感知、大数据、人工智
能等技术对采选设备进行改造，通过生产设备的机械化、自动化、
智能化逐步替换人工操作，探索工序远程化和智能化。



图 8 马钢矿业张庄铁矿智能集控中心实景图

①生产作业自动化、智能化建设实践

2019 年，张庄矿井下重点围绕机械化换人、自动化减人，
改善、消减井下 3D 岗位为目标，大力推进井下采掘设备机械化，
先后投入掘进凿岩台车 10 台，喷浆台车 3 台，锚杆台车 4 台，
撬毛台车 4 台，掘进面装药台车 4 台，混装炸药车 1 台，重氨油
装药台车 1 台。张庄矿井下采矿实现了机械化作业，极大提高了
作业效率。将作业人员从危险的作业环境解放出来，保障了作业
人员的安全。

张庄矿 2016 年开始有轨无人驾驶系统建设，2018 年投入使用，2019 年开展无人驾驶系统端部延伸改造，2020 年实现电机车无人驾驶全覆盖，开展地表操控系统升级改造，实现地表“一操二”。做到全流程无人操控。针对前期存在的信集闭系统和无人驾驶系统未完全融合及大块导致溜井放矿未实现无人化等问题。2023 年张庄矿对无人驾驶系统进行升级优化。

张庄矿 2020 年完成井下破碎机远程操作改造，将-540 破碎硐室破碎机及重型板式给料机远控系统接入张庄矿 2 楼集控中心，具备控制站内关键设备的功能。

张庄矿 2020 年完成三井集控，张庄矿有三条提升井，1#副井、2#副井和主井，主井负责承担矿石提升，1#副井主要承担生产区人员、材料上下，2#副井主要承担溜破系统人员及粉矿清理。在保持主井、2 号副井操作系统、电控系统完整的基础上，在 1 号副井配备 2 号副井、主井远程操作台，增加温度、压力、振动传感器，操控台交换机通过光纤与电控系统通信，按“操作室一律集中”的要求，实现三井集中控制。

2019 年充填站全流程自动化升级改造后，张庄矿充填系统中的尾砂浓缩与存储系统、胶凝材料存储与供料系统、充填料浆搅拌系统、充填料浆输送系统等子系统实现自动化控制；充填系统依靠高精度仪表及传感器对浓密机底流流量、浓度、搅拌槽料位等关键数据实时监测，采用变频连锁控制及数据通信技术，在设定充填配比及浓度的情况下，实现了充填全流程智能化管控，达到一键充填效果。

2019年开始建设智能选矿系统,2020年11月建成投入使用。系统将大数据、云计算、物联网等技术,通过迭代学习与选矿生产工艺结合,实现全流程自学习、自判断、自优化、自控制,无人干预,智能化运行。

通风系统、排水系统、压风系统、供电系统等公辅系统采用无人值守,溜破系统远程操作;实现减人增效,提升本质安全,显著改善了现场作业环境,降低了施工作业安全风险。

②生产管控信息化、智能化建设

张庄矿2020年建设生产智能集控中心,智能集控中心集成了井下六大系统、地压监测、风机远程控制系统、井下有轨无人驾驶系统、智能选矿系统、智能一键充填系统等各种智能化标准,以及生产通信、视频监控等系统。采、选、充三大核心系统紧密配合,取消二级、三级调度,集控中心统一指挥;生产全流程监控,实时精准掌控各工序动态,生产工序间更加协同、高效。

2022年张庄矿根据上级公司统一部署,完成了生产计划执行系统(MES系统)建设。MES系统集生产管控、质量、物资、能源等管理于一体,实现全生产流程数据管控。

(4)安徽开发矿业

安徽开发矿业在智能矿山的运营管理方面取得了一定的成效,通过数字化、智能化的手段,实现了对矿山生产、设备运行和作业人员等方面的全面监控和管理,有效提高了矿山的生产效率和管理水平。同时,安徽开发矿业还建立了专业化的智能矿山管理团队,不断优化和完善管理制度和流程。

为了提高矿山的生产效率，安徽开发矿业使用遥控电铲运机从地下矿井开采矿石。利用换班、爆破排烟等时间继续工作，从而实现了比人工驾驶模式更高的生产效率。此外，集控室单机位可同时操作三台铲运机，多机位可实现集群化作业，提高了劳动生产效率。

安徽开发矿业采用轨道无人驾驶系统，实现了自动驾驶。这一系统的实施使得原本的矿工与电机车司机工种合并，三组列车共计 27 人减少至 18 人。电机车司机改为在地表控制室作业，改善了职工作业环境，避免了机车伤害、人员触电和碎石溅伤等危险因素。同时，无人驾驶区域的封闭式管理提高了本质安全水平。

安徽开发矿业主提升机目前自动运行提矿一次约 4.5 分钟，一条井一个班次可提矿 106 次。提升机司机从主井现场操作改为在集控室集中操作同时兼职车间调度工作，减少了 26 名现场作业人员。在 3 条主井提升机集中操作下，2 名提升机司机控制 3 台提升机副井提升机司机从副井现场操作改为在井口信号房操作，井下各水平信号工从原信号房撤离改为跟罐运行，同时卷扬和信号工岗位共计减少 11 人。改善了职工作业环境，提高了本质安全水平。

安徽开发矿业精粉自动盘库系统效率是人工盘库的 12 倍，测量精度不低于 1%，且测量不受时间和天气影响可以定期获取精矿存量，有效释放了人工劳动力，提高了工作效率，减少岗位人员 5 人。充填站自动化系统可减少岗位人员 3-5 名，排水自动系统减少井下值守人员 8 人。此外系统可精准控制开泵时间降低

能耗。能耗监测系统为公司的能源利用诊断、能源质量监测、能源账单核对、节能控制、节能潜力分析、节能效果验证、能源调度等提供有效手段。

6. 技术难点

(1) 井下无轨运输、有轨运输无人驾驶效率低。从技术层面能够实现井下运输无人驾驶,但由于无法实现无人驾驶作业区域全面无人化,存在交叉作业等现象,通讯及精准定位系统可靠性及延时等问题,因此作业效率远低于传统作业方式,普及难度大。

(2) 井下采掘系统难以实现远程或无人作业。由于受现场作业环境制约,尤其是采场区域信号及爆破作业影响,采掘系统远程控制或无人作业难以实现。

(3) 井下通风系统局限于远程控制,在通风系统智能优化、风量智能调节与控制方面仍存在难点。

7. 措施建议

(1) 开发成熟的有轨运输、无轨运输无人驾驶系统,让井下无人驾驶系统效率更高、更安全稳定。

(2) 针对采掘系统的远程控制或无人作业,首先应优化现场作业环境,照明、爆破影响、通讯信号等,并对采掘设备进行智能化改造,使其适应采掘作业面作业环境,实现远程控制或无人作业。

(3) 对智能通风系统进行专项研究,开发出适用通风智能控制与调节的软硬件产品。

五、中型地下矿山数字化智能化转型典型路径方案

1. 适用范围

本项转型路径适用于安徽省内中型非煤地下开采矿山数字化智能化建设和管理。

2. 总体框架

以中型地下矿山、选厂现状为基础，以全面实现矿山技术、生产、安全、管理全作业链信息化智能化为目标，智能矿山建设基本架构主要分五层，分别为感知执行层、网络传输层、数字平台层、应用开发层、运营展示层。

感知执行层负责实现各子系统数据的感知与采集，同时对执行设备下发控制指令。网络传输层由 WiFi 网络、有线接入、4G/5G/WiFi6/专线等系统组成，负责信息和数据的双向传送。数字平台层向下实现各种多源异构感知数据的接入，向上为智能矿山应用层的开发提供服务和工具。应用开发层为用户提供实际使用到的涉及矿山生产、安全、经营管理、决策分析各环节的各类操作软件及工具。运营展示层主要包括移动端、PC 端、综合展示大屏等功能，方便指挥和管理人员远程操控、精准调度。

Level5	运营展示层	移动端		PC 端			大屏端
Level4	应用开发层	地质资源	测量管理	采矿设计	掘进机械化	...	
		采矿机械化自动化	智能运输	提升自动化	通风自动化	...	
		排水自动化	压风自动化	供配电自动化	智能监测	...	
		智能选厂		智慧管理			...
Level3	数字平台层	大数据	视频	AI	IoT	GIS	融合通信
Level2	网络传输层	WiFi 网络			4G/5G/WiFi6/专线		有线接入
Level1	感知执行层	摄像头	定位装置	控制/执行设备	传感器	其他设备	

图 9 中型地下矿山数字化智能化总体架构

3. 技术要求

根据矿山不同类型及发展阶段，中型地下矿山经过2~4年的技术及装备改造提升，应实现装备机械化、部分生产环节自动化、管理信息化，多个子系统的智能化。

矿山应首先进行智能化矿山建设方案规划设计，然后按设计方案进行网络信息化基础设施建设，并对各子系统进行改造升级及相关软硬件设备设施的安装调试，预计建设周期3年左右，总资金投入在2800万元左右。智能化投入根据矿山的改造项目数量、矿山的规模以及系统情况有所差异。建设项目、建设内容、资金投入、建设周期如下表所示。

表5 中型地下开采矿山数字化智能化转型路径

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
1	基础设施	通信系统设施：含有线、无线环网	硬件250万 软件100万	4个月
2		数据中心与服务：含数据存储及机房		
3	地质资源	地质资料数字化	硬件40万 软件60万	4个月
4		地质管理一体化		
5		资源储量估算评价与动态管理		
6		水文地质监测		
7	测量管理	测量信息采集	硬件40万 软件30万	2个月
8		测量数字化管理		
9	采矿智能设计	完成井下巷道设计，构建设计模型	硬件30万 软件65万	3个月
10		实现采准、切割、回采设计和地下爆破设计		
11	掘进作业 机械化	巷道掘进和出渣采用机械化设备	硬件150万 软件45万	3个月
12		巷道撬毛作业实现机械化		
13		喷浆采用喷浆机械		
14		掘进爆破装药机械化		
15		天溜井施工使用机械化、智能化设备		
16	采矿作业 机械化自动化	铲装作业远程遥控或自主作业（可选）	硬件250万 软件100万	3个月
17		凿岩作业远程遥控或自主作业（可选）		
18		回采作业远程遥控或自主作业（可选）		

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
19	运输系统机械化智能化	矿山运输系统管控平台	硬件200万 软件90万	3个月
20		有轨电机车运输远程遥控或无人驾驶		
21		无轨汽车运输远程遥控或自主作业		
22	提升系统自动化	主井提升智能装载、卸载及矿仓料位联动	硬件200万 软件90万	3个月
23		副井电梯式自助运行		
24		斜井具备常闭式防跑车装置		
25		钢丝绳在线监测		
26	通风系统自动控制	控制系统的远程和就地控制功能、无人值守自适应控制	硬件90万 软件70万	3个月
27	供配电系统	搭建变配电自动化集控平台	硬件70万 软件55万	3个月
28	自动化	供电系统故障诊断、预警		
29	排水系统自动控制	井下泵房远程集中控制	硬件60万 软件50万	2个月
30	压风系统自动控制	实现远程控制	硬件25万 软件40万	2个月
31	选矿自动化智能化系统	破碎过程智能化操作控制	硬件130万 软件70万	6个月
32		磨矿分级过程智能化操作控制		
33		选别过程智能化操作控制		
34		浓缩脱水过程智能化操作控制		
35	智慧应急管理 系统	矿山智能AI视频分析系统	硬件220万 软件100万	5个月
36		有毒有害气体实时监测预警		
37		火灾防治智能预测、预警		
38		地表沉降监测系统，实时自动上传		
39		地压监测系统，实时自动上传		
40		隐蔽致灾因素普查、灾害治理		
41		双重预防信息化系统		
42		矿用安全设备全生命周期监测系统		
43	矿山生产综合管控平台	实现矿山生产、安全、设备、管理等综合管控	硬件20万 软件60万	3个月

注：由于各矿山工艺特点、生产规模、开采矿种、装备应用等存在差异性，以及智能矿山技术更新迭代，表格中智能化资金投入及建设周期仅供参考，部分项目可同步进行建设。

4. 技术功能特性

(1) 基础设施

①基础网络

综合规划建设办公网、监控网、控制网及其他高速工业网络，支持数据采集、信息管理、视频监控、安全监测等信息化应用，保障数据安全可靠传输。

a.工业网

工业环网带宽：要以矿山工业环网所承载业务及数据流量分析为基础，同时考虑未来井下无人驾驶等智能化网络业务的扩展性。地表环网为千兆。

组网方式：采用环形或双环形组网技术和环间耦合技术，以实现传输链路或网络节点故障时，环网自动切换，对于时延要求高的设备可独立成环。

性能要求：网络建设具有高可靠冗余性；汇聚交换机与核心交换机实现万兆 OSPF 和线路冗余，支持三层路由功能；搭建设备监控、告警和展示平台，满足现有节点（网络设备），必须满足结合物理位置展示逻辑拓扑及连接情况，提供所需的软硬件平台，历史故障及告警信息可追溯、可查询；建设统一、高效、实时、稳定、安全的现场生产控制网络；实现主千万兆环网冗余，支路千兆网络带宽；冗余环网切换时间小于 20ms，支持冗余环间耦合。数据传输速率范围 10/100/1000/10000Mbps；支持 QoS 机制，可读取 IEEE802.1p/1Q 第二层 QoS 标签和第三层 TOS 信息，使重要数据能如期、持续地传输；全面支持工业网络必需的时钟同步 SNTP（简单网络时钟协议）功能，全网时钟统一，实时性高；支持多种级别的安全特性，实现整个网络的安全部署。普通人员可以查看不可更改交换机配置，而管理员则可以修改交

交换机的配置，避免交换机的配置被非法修改。

b.办公网

办公信息网带宽：要充分考虑私有云以及云桌面业务承载能力需求，集中管理简化运维的能力需求，要能够满足业务拓展。

组网方式：采用以数据中心机房为中心节点的扩展星型拓扑结构网络。

网络硬件：采用核心交换模式，由三层网管型交换机承担核心数据交换功能，并根据需要设置数台二层交换机提供全矿数据信息的核心交换功能。

因特网（Internet）接入与应用：使用专线方式接入双因特网线路，保证办公系统和财务、生产、管理、设备等资料信息的查询和交流等业务。

网络运维：要集中管理简化运维，能通过网关系统提供网络设备的统一管理，并配合相应软件模块实现网络健康监测，协助管理人员进行故障排除。

c.网络安全

在工控网络安全防护系统设计、实施过程中，建立等级保护深度防御体系，对计算环境、网络边界、通信网络、用户和数据进行全面加固。以《网络安全技术网络安全等级保护基本要求》（GB22239-2019）为依据，按照《网络安全技术网络安全等级保护安全设计技术要求》（GB25070-2019），建设符合矿山需要的安全计算环境、安全区域边界和安全通信网络。

②数据中心

建立与矿山规模及信息化水平相适应的安全、开放、数据易于获取与高效处理的企业数据中心，为矿山应用提供基础环境支持。

a. 机房硬件

数据中心建设标准不低于《数据中心设计规范》(GB50174)中 C 级标准。数据中心网络安全建设应满足相应网络安全等级保护要求。不间断电源系统应有自动和手动旁路装置，且其容量至少为负载的 1.2 倍。数据中心安全防范系统宜采用数字式系统，支持远程监视功能。数据中心的核基础设施宜按容错系统配置，在电子信息系统运行期间，基础设施应在一次意外事故后或单系统设备维护或检修时仍能保证电子信息系统正常运行。

b. 数据采集

数据采集系统应实现生产运营基础数据的在线、自动采集，采集范围应包括环境、资源、生产、设备、能源、质量、安全、运营管理等领域。数据应具备编码、时间、空间、关联、隶属等统一规范，便于数据共享与信息融合。

数据采集系统应统一建立数据服务系统，支持实时数据、关系数据以及非结构化数据的集中存储、管理和存取服务，并实现容灾备份功能。

(2) 地质资源管理

① 地质资料数字化

a. 实现勘察报告、核实报告、生产勘探报告等地质资料及其附件图表的电子化存储。

b. 电子化地质资料应实现多部门、多终端的异地实时更新、审阅、维护、发布和应用，数据的输入和输出应具有可追踪性。

②地质管理一体化

a. 各类地质数据应建立相应的数据库实现持久化存储，应采用专业软件实现数字化管理。

b. 应建立取样、制样、化验资料 and 数据的综合管理平台，统一规范取样、制样、化验工作流程，实时共享爆堆和化验数据，实现地质与生产过程一体化管理。

③资源储量估算评价与动态管理

a. 利用资源量模型和储量模型进行资源量和储量的估算评价。

b. 利用资源量模型和储量模型按照不同需要输出资源量和储量报告数据。

c. 资源量模型和储量模型应随勘探和生产数据的变动及时更新。

d. 资源管理系统应可历史回溯矿山资源量和储量动态变化情况，实现动态跟踪管理。

④水文地质监测

矿山应实现水文地质资料数字化，主要内容为采空区、地下水环境、地表水环境、土壤环境及地形地貌景观等。

(3) 测量管理

①测量信息采集

矿山测量信息采集和传输应采用现代数字化、遥控测量技术

及设备，包括手持 RTK、无人机航测、三维激光扫描仪等。

②测量数字化管理系统建立

测量工作应实现数字化管理，实现测量数据采集、存储、处理、统计以及图形化展现，应具有行业通用数据输入、输出接口。

(4) 采矿智能设计系统

①通过参数设置完成井下巷道设计，根据设计参数计算工程量，生成设计模型。

②对于地下开采，通过设置参数完成炮孔布置、炮孔装药、爆破量计算，实现完善的采准、切割、回采设计和地下爆破设计。

(5) 掘进作业机械化

非煤地下矿山井巷掘进包括竖井、平巷（斜井、斜坡道）、天井（溜井、上山）掘进作业，根据矿山生产规模、建设基础和开采条件和生产工艺流程，对井巷掘进作业过程中机械化、自动化、智能化建设提出相关要求。

通过优化生产工艺，积极引进现代化掘进凿岩台车、装药台车、伞形钻架、抓岩机、天井钻机等机械化装备在矿山井巷掘进作业中的应用。推动地下非煤矿山采掘机械化建设步伐，提高装备水平，改善作业条件，最大限度减少井下作业人员，提升矿山本质安全水平。

①竖井掘进机械化建设

新建矿山和生产矿山新增系统工程中的竖井掘进，应采用伞形钻架、抓岩机等机械化装备，并配套自动排渣设备，代替人工凿岩、出渣，实现竖井掘进机械化作业。其中，稳定岩层可采用

HK 型靠壁式抓岩机；破碎岩层可采用中心回转式或环形轨道式抓岩机。当条件受限时，可采用基于环形钻架的支腿式凿岩机。

②平巷（斜井、斜坡道）掘进机械化建设

平巷（斜井、斜坡道）凿岩应全面推广应用轮胎式、履带式、轨轮式掘进凿岩台车。出渣应采用铲运机、矿用轮胎式装载机或矿用挖掘式装载机、铲斗装岩机、耙斗装岩机等装载设备，实现掘进、出渣机械化作业。

（6）采矿作业机械化自动化

非煤地下矿山采矿作业包含采矿凿岩、装药作业、出矿及放矿作业、二次破碎作业四个基本作业工序，根据矿山生产规模、建设基础和开采条件，对采矿作业工序中机械化建设提出相关要求。

积极推广采矿台车、凿岩台车、装药台车、无轨铲装设备、振动放矿机、破碎台车或固定式破碎机等机械化装备在矿山采矿作业中的应用，推动地下非煤矿山采矿作业机械化建设，提高装备水平，改善作业条件，最大限度减少井下作业人员，提升矿山本质安全水平。

①采矿凿岩机械化建设

采矿凿岩应全面推广采用轮胎式、履带式凿岩台车、采矿台车等机械化设备；条件受限时，可采用钻架式或立柱式潜孔钻机进行采矿凿岩。

②装药作业机械化建设

对于孔深 $>5\text{m}$ 的深孔装药宜推广采用井下装药台车，如井下

现场混装粒状炸药车、井下现场混装重铵油炸药车、井下现场混装乳化炸药车；条件受限时，可采用 BQ 型、BQF 型等风动装药器装药。

对于孔深 $\leq 5\text{m}$ 浅孔装药作业，可采用井下装药台车或 BQ 型、BQF 型等风动装药器装药。条件受限时可采用人工药卷装药。

③出矿作业机械化建设

出矿作业应推广采用电动铲运机、内燃式铲运机、轮胎式装载机等无轨设备。当有轨设备出矿时，可采用矿用挖掘式装载机、铲斗装岩机、耙斗装岩机等装载设备，全面取代人工扒渣作业，实现机械化出矿作业。

④二次破碎作业机械化建设

在井下回采或巷道的无轨作业面，应采用履带式或轮胎式等移动式破碎机进行二次破碎；在矿仓、溜井口格筛处设固定式破碎机进行二次破碎；条件受限时，可在作业现场采用凿岩爆破方式进行二次破碎。

(7) 运输过程机械化智能化

矿山运输系统和运输方式应结合矿床条件、开拓系统、采矿方法、开采规模、生产服务年限、运输设备发展现状等原则确定。通过优化生产工艺，提高装备水平，逐步实现有轨机车、无轨自卸汽车、带式输送机等主运输系统自动化，改善作业条件，最大限度减少井下作业人员，提升矿山本质安全水平。

①矿山运输系统管控平台

a.建设生产运输管理平台，包括调度系统、机车远程驾驶平

台、机车装载控制系统、生产运输精细化管理等。

b.建设数据支撑系统，包括车辆移动通信网络、信集闭系统等。

c.建设生产状态监测系统，包括井下目标高精度定位系统、车辆运行监测系统、远程装矿监测系统等。

d.建设前端无人化作业系统，包括无人化电机车、远程放矿系统、轨道衡自动称重系统等，支持远程遥控驾驶和智能化无人驾驶，实现矿石品位配比、最优运力调度、机车无人驾驶、自动装载、矿石自动卸载、矿石自动称重、机车安全预警及生产数据精细化管理等功能。

②有轨电机车运输

a.有轨电机车运输应推广采用架线式电机车、蓄电池机车、变频电机车牵引底卸式或侧卸式矿车，并实现自动卸载。

b.中型地下矿山应实现服务车辆机械化，应用平板车、材料车、炸药车、平巷人车、斜井人车等代替人工运输。

③无轨汽车运输

a.无轨汽车运输的矿山应尽量选择为运输巷道断面所允许的运输设备，提高生产效率。

b.采用无轨汽车运输的矿山宜配备多功能服务车，实现材料、炸药、人员机械化运输。

c.无轨汽车运输驾驶室应满足（FOPS/ROPS 防落石/防滚翻）标准；制动系统应采用双回路刹车系统，提供双保险；矿用专用底盘，坚固耐用。

（8）提升系统自动化

目前我国生产和使用的提升机可分为单绳缠绕式和多绳摩擦式提升机两大类。为提高提升系统安全高效运行，提高作业效率，建设矿井提升自动控制系统。矿井提升自动控制系统一般采用双 PLC 控制，满足提升机电控设备相关规程规定。除完成绞车手动、半自动运行过程的逻辑操作外，通过高速计数器模块接收编码器发出的脉冲信号，精密计算并显示罐笼（或矿车）所处位置及速度，实现连续速度监控、逐点速度监控、井筒开关监控、所有编码器之间的相互监控、重载下放监控、重载提升监控，完成对速度、位置和力矩的闭环控制和故障处理保护回路，实现精准停车，提供可靠的软减速点及过速、软过卷保护。

提升自动控制系统由电源柜、操作台、PLC 控制柜、变频柜测速发电机、轴编码器、工业控制计算机、中段控制箱、通讯网络、检测仪表等设备组成。提升自动化系统辅助设施主要包括视频监控系統、设备监测系统、数据分析展示平台等系统。

为了保证提升系统安全运行，必须设置必要的保险装置，主要包括防止过卷装置、防止过速装置、过负荷和欠电压保护装置、限速装置、深度指示器失效保护装置、闸间隙保护装置、松绳保护装置（缠绕式提升绞车）、满仓保护装置（箕斗提升）、减速功能保护装置。

（9）通风系统自动控制

通风自动化系统通过主控计算机对每一台风机进行远程集中启停控制、正反转控制，对风机运行状态和风机电流、电压、

温度、风量、风压、风速、有毒有害气体浓度等参数进行实时监测,实现控制系统的远程和就地控制功能、无人值守自适应控制,最终实现节能,高效,智能的控制要求。

①控制要求

a.主通风机实现一键式启动、反风、倒机功能,机房、控制室安装监控视频,实现实时监控、远程自动控制。能在线监测运行状态、风量、风压、振动、温度等工况参数,具备超限报警功能。

b.局部通风机开停实现远程监控、主备风机自动切换。全部配备性能可靠的低噪音局部通风机。

c.主要风门设置风门开关传感器,单轨吊机车风门、风压较大行人联络巷风门应实现自动化监控。

d.局部通风机自动启停和地面集中控制,宜具备调速功能。鼓励有条件的矿山企业对主扇、局扇及辅扇进行联动控制,实现按需通风。

②功能要求

风机自动控制系统通过通信光缆将位于地面调度室的主控计算机与置于风井的 PLC 相连,形成通信网络,从而通过主控计算机对每一台风机进行远程集中启停控制、正反转控制,对风机运行状态和电流、电压、电机温度、风量、风压等参数进行实时监测。

③设备要求

现场仪表主要包括风量风压检测仪、风速传感器、温度传感

器、湿度传感器、CO 探测器、振动传感器、电流变送器，仪表选型要求耐腐蚀、防潮、适用于井下环境，防护等级 IP65 及以上，满足现场使用要求。

（10）供配电系统自动化

井下各高压配电站设有独立的电力自动化系统，可实现本站的继电保护及安全自动装置保护、数据采集及处理、系统通信及接口、远动及设备管理、系统自诊断、直流及所用电源监视、“五防”闭锁等。

在地表总降压站（调度中心）搭建变配电自动化集控平台，由其直接供电的变（配）电站及二级配电站设监控子站，各级监控站根据配电网的构成，形成电力系统的监控网络。对地面箱式变电站、井下变电所、采区变电所、线路等变输配系统和设备进行在线参数检测，实现地面调度中心对供电设备的遥测、遥调和遥控。矿山企业实时监控各个开关柜的电压、电流、功率等参数及开停状态，采集本配电站的电力数据并上传至集中监控站，实现故障自动检测、定位、预警，通过加装烟感和电缆温度检测系统提高安全生产水平，实现高压、低压供电管理无人值守。

各个接入平台的变电所进线、主变等保护、测控及自动装置直接接入网络，其他第三方设备如直流屏、火灾报警系统、电能量采集系统等通过规约转换装置接入网络。设置光交换机并经过前置机接入子站数据信息，实现数据通讯。各子站的视频信号通过独立的网络接入本变电所。

矿区变配电自动化集控平台与上级调度的通讯方式由地区

电网公司确定，调度管理原则根据地区电网调度管理权限确定；配合上级电力公司电调实现 SCADA 基本功能和应用功能；远动系统完成数据的采集、数据传送、接收和预处理，并与系统数据子系统以及人机交互子系统协同完成监测任务；通信规约与远动信息配置按照地区电网要求。

（11）矿山自动排水监控系统建设

排水自动化系统是根据排水控制要求，排水泵房设计安装自动控制系统，运用 PLC 系统控制技术和在线监测、智能管控技术，实现对水仓水位，水泵流量、排水压力、负压（真空度）、轴温、阀门状态、运行效率，电机轴温、定子温度、电压、电流、电耗、功率、运行效率等参数自动运行监测、智能控制、远程监控等功能，实现单台水泵和多泵联排的远程启停和就地控制功能。同时，对涌水量进行监测，可分段、分区监测，后台数据汇总，达到泵房安全高效运行目的。在集控中心实现井下排水系统监测与控制。

排水自动化系统由泵站排水自动控制系统和视频监控系统组成，控制系统具有完善的保护性能，能够满足矿山安全规程的规定和普遍采用的安全措施。设计系统分为上位机和就地控制两部分，上位机由工业控制计算机等设备组成，就地控制由控制箱、控制分站、仪表设备等组成。井下与控制分站之间的通讯采用光缆通讯方式，监控系统与控制系统单独通讯。

（12）矿井压风自动监控系统建设

压风自动化系统是根据井下供风要求，设计安装自动化控制

系统，实现空压机及冷却系统自动联动控制及空压机房的故障诊断、监测预警、负荷调节、电量计量、能耗分析，按程序自动切换运行、无人值守管理等功能。压风自动化系统由压风机自动控制系统和视频监控系统组成，控制系统具有完善的保护性能，能够满足矿山安全规程的规定和普遍采用的安全措施。

各种类型的空压机根据井下供风需求按照启动流程、峰谷平自动启停或者定时启停空压机。供风需要时，空压机状态自检完成后开启冷却循环设备，达到空压机启动条件开启空压机，出口压力达到定值后，打开储气罐阀门为井下生产供气，实现按需自动启停一台或多台空压机，完成空压机的自动加卸载控制。实现空压机及冷却水泵自动轮换功能；实现对排气温度、电机定子温度、冷却水温度超温报警，冷却水压力、润滑油压力、冷却水断水、过载停机、电源逆相、缺相保护、超过最大工作压力安全阀动作、空气过滤器堵塞、油过滤器堵塞、油气分离器堵塞等故障的自动报警功能；具备远程启停和就地控制功能。达到自动轮换开停、故障自动倒机、定时自动倒机和一键倒机控制要求。达到节约能源，降低劳动强度，实现空压机房的无人值守和自动供风。

（13）选矿自动化智能化系统建设

①破碎过程智能化操作控制

通过破碎全流程视频监测、基于矿石块度图像分析等技术实现故障报警，实现破碎过程的智能化操作，降低破碎停车故障，提高破碎运行效率。

②磨矿分级过程智能化操作控制

结合矿石块度图像分析、磨机负荷和分级粒度检测技术、磨机衬板磨损在线检测技术等，建立磨矿分级专家控制系统，实现磨矿分级的智能操作和分级粒度的闭环控制，稳定磨矿分级产品粒度、浓度技术指标，减少波动。

③选别过程智能化操作控制

面向浮选、磁选、电选等选别生产过程，结合在线品位分析、在线矿浆监测和机器视觉图像分析技术等，建立智能浮选机、智能高梯度磁选机等选别全流程智能协同控制系统，实现选别流程稳定控制和优化控制。稳定选别精矿品位，降低废次，优化提高回收率。

④浓缩脱水过程智能化操作控制

基于浓密过程智能监测技术，结合操作经验、机理变化趋势及生产数据分析，形成浓缩脱水专家控制规则库，实现浓密机底流排矿优化与节能控制，提高浓密机底流放矿浓度，实现浓密与脱水过程峰平谷优化调度。

（14）智慧应急管理系统

①矿山智能 AI 视频分析系统。

该系统的核心是 AI 图像智能识别技术，通过实时分析摄像机采集的实时视频图像数据，能够自动识别人员、设备、环境的各种状态和异常情况。如果发现异常情况，系统将立即触发报警事件，并自动记录抓拍图像和生成带有标记框的视频文件，以便后续查看和处理。

矿山智能 AI 视频分析系统具有以下主要功能：

a. 视频智能监测

智能 AI 视频分析系统支持对矿山视频进行智能监测，包括视频联网状态的查看、全矿视频监控的查询、单路视频的点播等功能。同时，系统还提供视频与告警关联查询功能，使用户能够迅速了解告警事件的现场情况，为快速响应和处置提供有力支持。

b. 告警管理与处置

系统实时推送最新告警信息至移动端，并展示告警详情，确保相关负责人能够迅速获取并进行处理。系统还支持督办处置功能，使得监管部门可以查阅和跟踪督办事项的处理情况，确保安全生产得到有效监管。

c. 风险闭环管理

系统提供全面的风险闭环管理功能，支持移动端查看告警信息详情，并根据告警级别进行分级推送。相关负责人能够核实告警信息，填报告警处置状态，并上传处置结果，形成完整的风险处理闭环，有效减少安全事故的发生。

矿山智能 AI 视频分析系统基于矿山现场摄像仪的实时视频数据，运用 AI 智能识别技术和机器学习模型进行风险分析。系统部署策略灵活，支持快速调整、扩容和异常恢复。同时，系统具备视频智能分析的高度集成性，支持便捷的分析配置和算法配置。此外，系统还支持自定义报警信息定义、联动控制、视频展示与轮询、组合报警等多种功能，满足矿山安全管理的多样化需求。

②有毒有害气体实时监测预警

通过接入监测监控系统数据，感知井下各个作业系统的氧气含量、烟雾、一氧化碳、二氧化氮、硫化氢等浓度情况。矿山接入粉尘实时监测系统，实时监测地表、井下等作业环境中的粉尘浓度，准确获取粉尘浓度数据。通过对采集到的数据进行分析，可以发现规律和趋势，帮助矿山制定更有效的粉尘防控措施。粉尘实时监测系统可以设置预警功能，当环境中的粉尘浓度超过设定的阈值时，系统会自动发出警报，提醒工人采取相应的安全措施，避免工人长时间接触高浓度粉尘而导致健康问题。

③火灾防治智能预测预警

井下火灾防治智能预测预警系统是集成了多种先进技术的系统，旨在预防、监测和应对井下火灾事故。该系统主要组成部分和功能如下：

监测与数据采集：系统通过部署在井下的各种传感器，实时监测环境参数，如温度、烟雾浓度、气体成分等。这些数据被定期或实时地收集并传输到中央处理单元。

数据处理与分析：中央处理单元对收集到的数据进行处理和分析，利用算法和模型识别潜在的火灾风险。例如，系统可以检测温度或烟雾浓度的异常升高，这可能预示着火灾的发生。

预警与报警：一旦系统检测到潜在的火灾风险，它会触发预警机制，向相关人员发送警告信息。如果风险持续升级或达到危险水平，系统会启动报警程序，发出更强烈的警报并采取相应的紧急措施。

自动化控制：系统可以与井下的安全设备和设施进行集成，

实现自动化控制。例如，在检测到火灾风险时，系统可以自动启动通风系统以降低氧气含量，或关闭电源以防止电气火灾的蔓延。

可视化与决策支持：通过用户界面，系统可以提供实时的数据可视化和监控画面，帮助管理人员了解井下情况并作出决策。此外，系统还可以提供历史数据和趋势分析，以支持长期的安全管理和改进。

应急响应与救援支持：在火灾发生时，系统可以提供应急响应和救援支持。例如，其可以提供逃生路线和避难所的位置信息，协助人员疏散。同时，系统还可以与外部的救援机构进行通信和协调，提供必要的信息和支持。

④地表沉降监测系统

矿山在生产过程中会形成采空区，采空区如果不及时充填，可能会造成地表塌陷。在可能发生地质灾害的区域结合水文地质条件，合理布设监测点，形成整体的地质灾害监测网，监测系统能够实时显示监测点的变化情况，如位移量、位移速度、加速度、位移矢量图等；监测系统提供预警功能，针对紧急情况下的抢险救援工作可以提供有效数据依据，确保危险区域发生灾害前及时有效的应急响应；系统支持进行多级报警，通过多种方式将报警信息发送给相关责任人，进一步预测灾害的发生趋势。

在监测目标附近建立观测网，观测网有基准点和观测点，采用 GNSS 现场实时在线监测和地表水文观测孔进行监测。根据每次测得的沉降观测点的高程，绘制成每点的每次高程变化曲

线，根据变化曲线分析地表的沉降变化、沉降规律和沉降速度；根据每次测得的沉降观测点的坐标，绘制成每点的每次位移变化图，根据位移变化图分析地表沉降的发展方向和发展速度。根据分析结果采取措施，出现大面积区域内的观测点出现较大高程变化和位移变化时要及时发出预警，疏散人员，防止重大事故发生。

⑤地压监测系统

地压在线监测预警系统是一种采用综合传感器技术、电子技术、信息技术、通信技术、计算机技术、网络技术等多学科手段进行自动监测及预警的系统。其主要功能和应用如下：

该系统可以完成深部地压监测信息的自动采集、存储、网络分发、预警显示等功能，实现信息化、实时化、网络化，让管理人员能够及时直观地掌握井下深层地压安全参数的实际动态。通过布置在井下的各种传感器，如应变计、位移计、收敛计、测缝计等，系统可以实时监测岩石的应变、位移、收敛以及裂缝的变化等地压相关参数。

井下地压在线监测预警系统通常提供多种监测手段，如深层应力监测、断面收敛监测和微震监测等，以全方位地评估地压状态。当监测数据出现异常或超过预设的安全阈值时，系统会触发预警机制，及时向相关人员发送警告信息，以便他们采取相应的措施来防范潜在的地压灾害。

⑥隐蔽致灾因素普查、灾害治理

实现对矿山基础信息、普查成果、地勘工程、生产建设工程、灾害防治等成果资料及图纸的动态实时监测管理。

⑦双重预防信息化系统

双重预防信息化系统涉及矿山安全管理方面，涵盖风险分级管控及隐患排查治理。主要包括前期准备、划分风险评估单元、辨识各类危险源、风险评估、风险分级管控、安全风险公告、隐患排查、隐患分级、隐患治理等。通过信息化手段，实现企业资质证照智能分组、过期自动提醒，以及危险源点的实时监控预警、自动评估、智能分析、综合判断等功能。

⑧矿用安全设备全生命周期监测系统

矿用安全设备全生命周期监测系统通过对矿用安全设备数据采集、分析统计，实现设备选型、采购计划、投产使用、在线盘点、监测分析、故障预警、巡检维修和报废再生的全生命周期进行闭环管理，使矿山能够实时掌握每台设备在开采区、井下巷道或库房等区域上的位置信息，为管理决策提供精准有效的数据依据。

系统包含以下功能：设备管理、感知数据在线监测、设备故障预警、设备全生命管理、移动 APP 端。

（15）矿山生产综合管控平台

建设智能管控中心，构建多业务、多系统一体化、可视化高度融合的智能综合管控平台，支持多种通信协议，将矿山生产、安全等多源异构系统数据进行采集、集成，让矿山运营透明可视、资源调度快速有序、生产安全高效协同，提升矿山运作效率和整体产能。

5. 应用案例

铜陵有色股份天马山黄金矿业有限公司天马山硫金矿是一家地下开采矿山，隶属于铜陵有色金属集团股份有限公司，天马山硫金矿床处在铜官山矿区北东，行政区划属铜陵市铜官区。

目前矿山在一些子系统实现了自动化或无人化，主要表现在两个水泵房实现了自动化，-335m 水泵房实现了无人值守，-215m 风机实现了远程控制，在地表中控室实现了信息化管理，主要包括数据信息化、OA 办公管理信息化、生产管理信息化、在线监测、视频监控、调度指挥、能源管理、井下人员定位等。但存在个别系统维护跟不上，故障无法及时处理等问题。另外矿山利用已销库的尾矿库建设光伏发电场地，用电量占比高达 50%左右，极大提高了清洁能源替代使用。

6. 技术难点

(1) 中型地下矿山基础网络设施较大型矿山偏弱，矿山各系统的通信网络协议多样，各类感知设备采用的通信技术标准各不相同，相互之间不能互联互通，导致信息传输受阻、整体稳定性差等问题。

(2) 井下采掘系统难以远程或无人作业。由于受现场作业环境制约，尤其是采场区域信号及爆破作业影响，采掘系统远程控制或无人作业难以实现。

(3) 智能化矿山建设需要一支具备专业知识和实践经验的技术团队来进行规划、设计、实施和维护。中型矿山往往缺乏此类技术人才，导致智能化转型难以进行。

7. 措施建议

(1) 加强网络通信协议的研发和推广。通过研发和推广具有兼容性的网络通信协议，实现各类感知设备的互联互通，提高信息传输的稳定性和效率。

(2) 针对采掘系统的远程控制或无人作业，首先应优化现场作业环境，照明、爆破影响、通讯信号等，并对采掘设备进行智能化改造，使其适应采掘作业面作业环境，实现远程控制或无人作业。

(3) 加强人才培养和引进。通过内部培训、外部招聘等方式，加强智能化技术人才的培养和引进，提高团队的整体素质和能力。

六、小型地下矿山数字化智能化转型典型路径方案

1. 适用范围

本项转型路径适用于安徽省内小型非煤地下开采矿山数字化智能化建设和管理。

2. 总体框架

以小型矿山、选厂现状为基础，以全面实现矿山技术、生产、安全、管理全作业链信息化智能化为目标，智能矿山建设基本架构主要分五层，分别为感知执行层、网络传输层、数字平台层、应用开发层、运营展示层。

感知执行层负责实现各子系统数据的感知与采集，同时对执行设备下发控制指令。网络传输层由 WiFi 网络、有线接入、4G/5G/WiFi6/专线等系统组成，负责信息和数据的双向传送。数字平台层向下实现各种多源异构感知数据的接入，向上为智能矿山应用层的开发提供服务和工具。应用开发层为用户提供实际使用到的涉及矿山生产、安全、经营管理、决策分析各环节的各类操作软件及工具。运营展示层主要包括移动端、PC 端、综合展示大屏等功能，方便指挥和管理人员远程操控、精准调度。

Level5	运营展示层	移动端		PC 端		大屏端	
Level4	应用开发层	地质资源	测量管理	掘进机械化	采矿机械化自动化	...	
		通风自动化	提升自动化	供配电自动化	运输机械化智能化	...	
		排水自动化	压风自动化	智能监测	智慧管理	...	
Level3	数字平台层	大数据	视频	AI	IoT	GIS	融合通信
Level2	网络传输层	WiFi 网络		4G/5G/WiFi6/专线		有线接入	
Level1	感知执行层	摄像头	定位装置	控制/执行设备	传感器	其他设备	

图 10 小型地下矿山数字化智能化总体架构

3. 技术要求

根据矿山不同类型及发展阶段，小型地下矿山经过2~3年的技术及装备改造提升，应实现小型装备机械化、部分生产环节自动化、管理信息化，单一子系统的智能化。

矿山应首先进行智能化矿山建设方案规划设计，然后按设计方案进行网络信息化基础设施建设，并对各子系统进行改造升级及相关软硬件设备设施的安装调试，预计建设周期2年左右，总资金投入在1160万元左右。智能化投入根据矿山的改造项目数量、矿山的规模以及系统情况有所差异。建设项目、建设内容、资金投入、建设周期如下表所示。

表6 小型地下开采矿山数字化智能化转型路径

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
1	基础设施	通信系统设施：含有线、无线环网	硬件40万	2个月
2		数据中心与服务：含数据存储及机房	软件30万	
3	地质资源	地质资料数字化	硬件20万 软件30万	3个月
4		地质管理一体化		
5		资源储量估算评价与动态管理		
6	测量管理	测量信息采集	硬件20万	2个月
7		测量数字化管理	软件15万	
8	掘进作业 机械化	巷道掘进和出渣采用机械化设备	硬件70万	3个月
9		巷道撬毛作业实现机械化	软件30万	
10	采矿作业 机械化自动化	铲装作业远程遥控或自主作业（可选）	硬件120万 软件50万	3个月
11		凿岩作业远程遥控或自主作业（可选）		
12		回采作业远程遥控或自主作业（可选）		
13	运输系统机械 化智能化	有轨运输远程遥控或无人驾驶	硬件100万	3个月
14		无轨汽车运输远程遥控或自主作业	软件50万	
15	提升系统 自动化	副井电梯式自助运行	硬件100万	2个月
16		斜井具备常闭式防跑车装置	软件50万	
17	通风系统 自动控制	控制系统的远程和就地控制功能、无人值守自适应控制	硬件40万 软件30万	3个月
18	供配电系统 自动化	搭建变配电自动化集控平台	硬件35万 软件30万	2个月

序号	项目	建设内容	资金投入	建设周期
19	排水系统 自动控制	井下泵房远程控制	硬件30万 软件20万	2个月
20	压风系统 自动控制	实现远程控制	硬件15万 软件25万	2个月
21	智慧应急管理 系统	矿山智能AI视频分析系统	硬件100万 软件60万	4个月
22		有毒有害气体实时监测预警		
23		地表沉降监测系统，实时自动上传		
24		双重预防信息化系统		
25		矿用安全设备全生命周期监测系统		
26	矿山生产综合 管控平台	实现矿山生产、安全、设备、管理等综 合管控	硬件15万 软件35万	2个月

注：由于各矿山工艺特点、生产规模、开采矿种、装备应用等存在差异性，以及智能矿山技术更新迭代，表格中智能化资金投入及建设周期仅供参考，部分项目可同步进行建设。

4. 技术功能特性

(1) 基础设施

①基础网络

综合规划建设办公网、监控网、控制网及其他高速工业网络，支持数据采集、信息管理、视频监控、安全监测等信息化应用，保障数据安全可靠传输。

a.工业网

工业环网带宽：要以矿山工业环网所承载业务及数据流量为分析基础，同时考虑未来井下无人驾驶等智能化网络业务的扩展性。地表环网为千兆。

组网方式：采用环形或双环形组网技术和环间耦合技术，以实现传输链路或网络节点故障时，环网自动切换，对于时延要求高的设备可独立成环。

性能要求：网络建设具有高可靠冗余性；汇聚交换机与核心

交换机实现万兆 OSPF 和线路冗余，支持三层路由功能；搭建设备监控、告警和展示平台，满足现有节点（网络设备），必须满足结合物理位置展示逻辑拓扑及连接情况，提供所需的软硬件平台，历史故障及告警信息可追溯、可查询；建设统一、高效、实时、稳定、安全的现场生产控制网络；实现主千万兆环网冗余，支路千兆网络带宽；冗余环网切换时间小于 20ms，支持冗余环间耦合。数据传输速率范围 10/100/1000/10000Mbps；支持 QoS 机制，可读取 IEEE802.1p/1Q 第二层 QoS 标签和第三层 TOS 信息，使重要数据能如期、持续地传输；全面支持工业网络必需的时钟同步 SNTP（简单网络时钟协议）功能，全网时钟统一，实时性高；支持多种级别的安全特性，实现整个网络的安全部署。普通人员可以查看不可更改交换机配置，而管理员则可以修改交换机的配置，避免交换机的配置被非法修改。

b.办公网

办公信息网带宽：要充分考虑私有云以及云桌面业务承载能力需求，集中管理简化运维的能力需求，要能够满足业务拓展。

组网方式：采用以数据中心机房为中心节点的扩展星型拓扑结构网络。

网络硬件：采用核心交换模式，由三层网管型交换机承担核心数据交换功能，并根据需要设置数台二层交换机提供全矿数据信息的核心交换功能。

因特网（Internet）接入与应用：使用专线方式接入双因特网线路，保证办公系统和财务、生产、管理、设备等资料信息的查

询和交流等业务。

网络运维：要集中管理简化运维，能通过网关系统提供网络设备的统一管理，并配合相应软件模块实现网络健康监测，协助管理人员进行故障排除。

c.网络安全

在工控网络安全防护系统设计、实施过程中，建立等级保护深度防御体系，对计算环境、网络边界、通信网络、用户和数据进行全面加固。以《网络安全技术网络安全等级保护基本要求》（GB/T22239-2019）为依据，按照《网络安全技术网络安全等级保护安全设计技术要求》（GB/T25070-2019），建设符合矿山需要的安全计算环境、安全区域边界和安全通信网络。

②数据中心

建立与矿山规模及信息化水平相适应的安全、开放、数据易于获取与高效处理的企业数据中心，为矿山应用提供基础环境支持。

a.机房硬件

数据中心建设标准不低于《数据中心设计规范》（GB50174）中 C 级标准。数据中心网络安全建设应满足相应网络安全等级保护要求。不间断电源系统应有自动和手动旁路装置，且其容量至少为负载的 1.2 倍。数据中心安全防范系统宜采用数字式系统，支持远程监视功能。数据中心的核基础设施宜按容错系统配置，在电子信息系统运行期间，基础设施应在一次意外事故后或单系统设备维护或检修时仍能保证电子信息系统正常运行。

b. 数据采集

数据采集系统应实现生产运营基础数据的在线、自动采集，采集范围应包括环境、资源、生产、设备、能源、质量、安全、运营管理等领域。数据应具备编码、时间、空间、关联、隶属等统一规范，便于数据共享与信息融合。

数据采集系统应统一建立数据服务系统，支持实时数据、关系数据以及非结构化数据的集中存储、管理和存取服务，并实现容灾备份功能。

(2) 地质资源管理

① 地质资料数字化

a. 实现勘察报告、核实报告、生产勘探报告等地质资料及其附件图表的电子化存储。

b. 电子化地质资料应实现多部门、多终端的异地实时更新、审阅、维护、发布和应用，数据的输入和输出应具有可追踪性。

② 地质管理一体化

a. 各类地质数据应建立相应的数据库实现持久化存储，应采用专业软件实现数字化管理。

b. 应建立取样、制样、化验资料和数据的综合管理平台，统一规范取样、制样、化验工作流程，实时共享爆堆和化验数据，实现地质与生产过程一体化管理。

③ 资源储量估算评价与动态管理

a. 利用资源量模型和储量模型进行资源量和储量的估算评价。

b.利用资源量模型和储量模型按照不同需要输出资源量和储量报告数据。

c.资源量模型和储量模型应随勘探和生产数据的变动及时更新。

d.资源管理系统应可历史回溯矿山资源量和储量动态变化情况，实现动态跟踪管理。

（3）测量管理

①测量信息采集

矿山测量信息采集和传输应采用现代数字化、遥控测量技术及设备，包括手持 RTK、无人机航测、三维激光扫描仪等。

②测量数字化管理系统建立

测量工作应实现数字化管理，实现测量数据采集、存储、处理、统计以及图形化展现，应具有行业通用数据输入、输出接口。

（4）掘进作业机械化

非煤地下矿山井巷掘进包括竖井、平巷（斜井、斜坡道）、天井（溜井、上山）掘进作业，根据矿山生产规模、建设基础和开采条件和生产工艺流程，对井巷掘进作业过程中机械化、自动化、智能化建设提出相关要求。

通过优化生产工艺，积极引进现代化掘进凿岩台车、装药台车、伞形钻架、抓岩机、天井钻机等机械化装备在矿山井巷掘进作业中的应用。推动地下非煤矿山采掘机械化建设步伐，提高装备水平，改善作业条件，最大限度减少井下作业人员，提升矿山本质安全水平。

①竖井掘进机械化建设

新建矿山和生产矿山新增系统工程中的竖井掘进，应采用伞形钻架、抓岩机等机械化装备，并配套自动排渣设备，代替人工凿岩、出渣，实现竖井掘进机械化作业。其中，稳定岩层可采用HK型靠壁式抓岩机；破碎岩层可采用中心回转式或环形轨道式抓岩机。当条件受限时，可采用基于环形钻架的支腿式凿岩机。

②平巷（斜井、斜坡道）掘进机械化建设

平巷（斜井、斜坡道）凿岩应全面推广应用轮胎式、履带式、轨轮式掘进凿岩台车。出渣应采用铲运机、矿用轮胎式装载机或矿用挖掘式装载机、铲斗装岩机、耙斗装岩机等装载设备，实现掘进、出渣机械化作业。

（5）采矿作业机械化自动化

非煤地下矿山采矿作业包含采矿凿岩、装药作业、出矿及放矿作业、二次破碎作业四个基本作业工序，根据矿山生产规模、建设基础和开采条件，对采矿作业工序中机械化建设提出相关要求。

推广采矿台车、凿岩台车、装药台车、无轨铲装设备、振动放矿机、破碎台车或固定式破碎机等机械化装备在矿山采矿作业中的应用，推动地下非煤矿山采矿作业机械化建设，提高装备水平，改善作业条件，最大限度减少井下作业人员，提升矿山本质安全水平。

①采矿凿岩机械化建设

采矿凿岩应全面推广采用轮胎式、履带式凿岩台车、采矿台

车等机械化设备；条件受限时，可采用钻架式或立柱式潜孔钻机进行采矿凿岩。

②装药作业机械化建设

对于孔深 $>5\text{m}$ 的深孔装药宜推广采用井下装药台车，如井下现场混装粒状炸药车、井下现场混装重铵油炸药车、井下现场混装乳化炸药车；条件受限时，可采用BQ型、BQF型等风动装药器装药。

对于孔深 $\leq 5\text{m}$ 浅孔装药作业，可采用井下装药台车或BQ型、BQF型等风动装药器装药。条件受限时可采用人工药卷装药。

③出矿作业机械化建设

出矿作业应推广采用电动铲运机、内燃式铲运机、轮胎式装载机、无轨设备等。当有轨设备出矿时，可采用矿用挖掘式装载机、铲斗装岩机、耙斗装岩机等装载设备，全面取代人工扒渣作业，实现机械化出矿作业。

④二次破碎作业机械化建设

在井下回采或巷道的无轨作业面，应采用履带式或轮胎式等移动式破碎机进行二次破碎；在矿仓、溜井口格筛处设固定式破碎机进行二次破碎；条件受限时，可在作业现场采用凿岩爆破方式进行二次破碎。

（6）运输过程机械化智能化

矿山运输系统和运输方式应结合矿床条件、开拓系统、采矿方法、开采规模、生产服务年限、运输设备发展现状等原则确定。通过优化生产工艺，提高装备水平，逐步实现有轨机车、无轨自

卸汽车、带式输送机等主运输系统自动化，改善作业条件，最大限度减少井下作业人员，提升矿山本质安全水平。

①有轨电机车运输

a.有轨电机车运输应推广采用架线式电机车、蓄电池机车、变频电机车牵引底卸式或侧卸式矿车，并实现自动卸载。

b.小型地下矿山应实现服务车辆机械化，应用平板车、材料车、炸药车、平巷人车、斜井人车等代替人工运输。

②无轨汽车运输

a.无轨汽车运输的矿山应尽量选择为运输巷道断面所允许的运输设备，提高生产效率。

b.采用无轨汽车运输的矿山宜配备多功能服务车，实现材料、炸药、人员机械化运输。

c.无轨汽车运输驾驶室应满足（FOPS/ROPS 防落石/防滚翻）标准；制动系统应采用双回路刹车系统，提供双保险；矿用专用底盘，坚固耐用。

（7）提升系统自动化

目前我国生产和使用的提升机可分为单绳缠绕式和多绳摩擦式提升机两大类。为提高提升系统安全高效运行，提高作业效率，建设矿井提升自动控制系统。矿井提升自动控制系统一般采用双 PLC 控制，满足提升机电控设备相关规程规定。除完成绞车手动、半自动运行过程的逻辑操作外，通过高速计数器模块接收编码器发出的脉冲信号，精密计算并显示罐笼（或矿车）所处位置及速度，实现连续速度监控、逐点速度监控、井筒开关监控、

所有编码器之间的相互监控、重载下放监控、重载提升监控，完成对速度、位置和力矩的闭环控制和故障处理保护回路，实现精准停车，提供可靠的软减速点及超速、软过卷保护。

提升自动控制系统由电源柜、操作台、PLC控制柜、变频柜测速发电机、轴编码器、工业控制计算机、中段控制箱、通讯网络、检测仪表等设备组成。提升自动化系统辅助设施主要包括视频监控系統、设备监测系统、数据分析展示平台等系统。

为了保证提升系统安全运行，必须设置必要的保险装置，主要包括防止过卷装置、防止超速装置、过负荷和欠电压保护装置、限速装置、深度指示器失效保护装置、闸间隙保护装置、松绳保护装置（缠绕式提升绞车）、满仓保护装置（箕斗提升）、减速功能保护装置。

（8）通风系统自动控制系统建设

通风自动化系统通过主控计算机对每一台风机进行远程集中启停控制、正反转控制，对风机运行状态和风机电流、电压、温度、风量、风压、风速、有毒有害气体浓度等参数进行实时监测，实现控制系统的远程和就地控制功能、无人值守自适应控制，最终实现节能，高效，智能的控制要求。

①控制要求

a.主通风机实现一键式启动、反风、倒机功能，机房、控制室安装监控视频，实现实时监控、远程自动控制。能在线监测运行状态、风量、风压、振动、温度等工况参数，具备超限报警功能。

b.局部通风机开停实现远程监控、主备风机自动切换。全部配备性能可靠的低噪音局部通风机。

c.主要风门设置风门开关传感器，单轨吊机车风门、风压较大行人联络巷风门应实现自动化监控。

d.局部通风机自动启停和地面集中控制，宜具备调速功能。鼓励有条件的矿山企业对主扇、局扇及辅扇进行联动控制，实现按需通风。

②功能要求

风机自动控制系统通过通信光缆将位于地面调度室的主控计算机与置于风井的 PLC 相连，形成通信网络，从而通过主控计算机对每一台风机进行远程集中启停控制、正反转控制，对风机运行状态和电流、电压、电机温度、风量、风压等参数进行实时监测。

③设备要求

现场仪表主要包括风量风压检测仪、风速传感器、温度传感器、湿度传感器、CO 探测器、振动传感器、电流变送器等，仪表选型要求耐腐蚀、防潮、适用于井下环境，防护等级 IP65 及以上，满足现场使用要求。

(9) 供配电系统自动化建设

井下各高压配电站设有独立的电力自动化系统，可实现本站的继电保护及安全自动装置保护、数据采集及处理、系统通信及接口、远动及设备管理、系统自诊断、直流及所用电源监视、“五防”闭锁等。

在地表总降压站（调度中心）搭建变配电自动化集控平台，由其直接供电的变（配）电站及二级配电站设监控子站，各级监控站根据配电网的构成，形成电力系统的监控网络。对地面箱式变电站、井下变电所、采区变电所、线路等变输配系统和设备进行在线参数检测，实现地面调度中心对供电设备的遥测、遥调和遥控。矿山企业实时监控各个开关柜的电压、电流、功率等参数及开停状态，采集本配电站的电力数据并上传至集中监控站，实现故障自动检测、定位、预警，通过加装烟感和电缆温度检测系统提高安全生产水平，实现高压、低压供电管理无人值守。

各个接入平台的变电所进线、主变等保护、测控及自动装置直接接入网络，其他第三方设备如直流屏、火灾报警系统、电能量采集系统等通过规约转换装置接入网络。设置光交换机并经过前置机接入子站数据信息，实现数据通讯。各子站的视频信号通过独立的网络接入本变电所。

矿区变配电自动化集控平台与上级调度的通讯方式由地区电网公司确定，调度管理原则根据地区电网调度管理权限确定；配合上级电力公司电调实现 SCADA 基本功能和应用功能；远动系统完成数据的采集、数据传送、接收和预处理，并与系统数据子系统以及人机交互子系统协同完成监测任务；通信规约与远动信息配置按照地区电网要求。

（10）矿山自动排水监控系统建设

排水自动化系统是根据排水控制要求，排水泵房设计安装自动控制系统，运用 PLC 系统控制技术和在线监测、智能管控技

术，实现对水仓水位，水泵流量、排水压力、负压（真空度）、轴温、阀门状态、运行效率，电机轴温、定子温度、电压、电流、电耗、功率、运行效率等参数自动运行监测、智能控制、远程监控等功能，实现单台水泵和多泵联排的远程启停和就地控制功能。同时，对涌水量进行监测，可分段、分区监测，后台数据汇总，达到泵房安全高效运行目的。在集控中心实现井下排水系统监测与控制。

排水自动化系统由泵站排水自动控制系统和视频监控系统组成，控制系统具有完善的保护性能，能够满足矿山安全规程的规定和普遍采用的安全措施。设计系统分为上位机和就地控制两部分，上位机由工业控制计算机等设备组成，就地控制有控制箱、控制分站、仪表设备等组成。井下与控制分站之间的通讯采用光缆的通讯方式，监控系统与控制系统单独通讯。

（11）矿井压风自动监控系统建设

压风自动化系统是根据井下供风要求，设计安装自动化控制系统，实现空压机及冷却系统自动联动控制，空压机的故障诊断、监测预警、负荷调节、电量计量、能耗分析，按程序自动切换运行、无人值守管理等功能。压风自动化系统由压风机自动控制系统和视频监控系统组成，控制系统具有完善的保护性能，能够满足矿山安全规程的规定和普遍采用的安全措施。

各种类型的空压机根据井下供风需求按照启动流程、峰谷平自动启停或者定时启停空压机。供风需要时，空压机状态自检完成后开启冷却循环设备，达到空压机启动条件开启空压机，出口

压力达到定值后，打开储气罐阀门为井下生产供气，实现按需自动启停一台或多台空压机，完成空压机的自动加卸载控制。实现空压机及冷却水泵自动轮换功能；实现对排气温度、电机定子温度、冷却水温度超温报警，冷却水压力、润滑油压力、冷却水断水、过载停机、电源逆相、缺相保护、超过最大工作压力安全阀动作、空气过滤器堵塞、油过滤器堵塞、油气分离器堵塞等故障的自动报警功能；具备远程启停和就地控制功能。达到自动轮换开停、故障自动倒机、定时自动倒机和一键倒机控制要求。达到节约能源，降低劳动强度，实现空压机房的无人值守和自动供风。

（12）安全监测监控系统

①矿山智能 AI 视频分析系统

该系统的核心是 AI 图像智能识别技术，通过实时分析摄像机采集的实时视频图像数据，能够自动识别人员、设备、环境的各种状态和异常情况。如果发现异常情况，系统将立即触发报警事件，并自动记录抓拍图像和生成带有标记框的视频文件，以便后续查看和处理。

矿山智能 AI 视频分析系统具有以下主要功能：

a. 视频智能监测

智能 AI 视频分析系统支持对矿山视频进行智能监测，包括视频联网状态的查看、全矿视频监控的查询、单路视频的点播等功能。同时，系统还提供视频与告警关联查询功能，使用户能够迅速了解告警事件的现场情况，为快速响应和处置提供有力支持。

b.告警管理与处置

系统实时推送最新告警信息至移动端，并展示告警详情，确保相关负责人能够迅速获取并进行处理。系统还支持督办处置功能，使得监管部门可以查阅和跟踪督办事项的处理情况，确保安全生产得到有效监管。

c.风险闭环管理

系统提供全面的风险闭环管理功能，支持在移动端查看告警信息详情，并根据告警级别进行分级推送。相关负责人能够核实告警信息，填报告警处置状态，并上传处置结果，形成完整的风险处理闭环，有效减少安全事故的发生。

矿山智能 AI 视频分析系统基于矿山现场摄像仪的实时视频数据，运用 AI 智能识别技术和机器学习模型进行风险分析。系统部署策略灵活，支持快速调整、扩容和异常恢复。同时，系统具备视频智能分析的高度集成性，支持便捷的分析配置和算法配置。此外，系统还支持自定义报警信息定义、联动控制、视频展示与轮询、组合报警等多种功能，满足矿山安全管理的多样化需求。

②有毒有害气体实时监测预警

通过接入监测监控系统数据，感知井下各个作业系统的氧气含量、烟雾、一氧化碳、二氧化氮、硫化氢等浓度情况。矿山接入粉尘实时监测系统，实时监测地表、井下等作业环境中的粉尘浓度，准确获取粉尘浓度数据。通过对采集到的数据进行分析，可以发现规律和趋势，帮助矿山制定更有效的粉尘防控措施。粉

尘实时监测系统可以设置预警功能，当环境中的粉尘浓度超过设定的阈值时，系统会自动发出警报，提醒工人采取相应的安全措施，避免工人长时间接触高浓度粉尘而导致健康问题。

③地表沉降监测系统

矿山在生产过程中，会形成采空区，采空区如果不及时充填，可能会造成地表塌陷。在可能发生地质灾害的区域结合水文地质条件，合理布设监测点，形成整体的地质灾害监测网，监测系统能够实时显示监测点的变化情况，如位移量、位移速度、加速度、位移矢量图等；监测系统提供预警功能，针对紧急情况下的抢险救援工作可以提供有效数据依据，确保危险区域发生灾害前及时有效的应急响应；系统支持进行多级报警，通过多种方式将报警信息发送给相关责任人，进一步预测灾害的发生趋势。

在监测目标附近建立观测网，观测网有基准点和观测点，采用 GNSS 现场实时在线监测和地表水文观测孔进行监测。根据每次测得的沉降观测点的高程，绘制成每点的每次高程变化曲线，根据变化曲线分析地表的沉降变化、沉降规律和沉降速度；根据每次测得的沉降观测点的坐标，绘制成每点的每次位移变化图，根据位移变化图分析地表沉降的发展方向和发展速度。根据分析结果采取措施，出现大面积区域内的观测点出现较大高程变化和位移变化时要及时发出预警，疏散人员，防止重大事故发生。

④双重预防信息化系统

双重预防信息化系统涉及矿山安全管理方面，涵盖风险分级管控及隐患排查治理。主要包括前期准备、划分风险评估单元、

辨识各类危险源、风险评估、风险分级管控、安全风险公告、隐患排查、隐患分级、隐患治理等。通过信息化手段，实现企业资质证照智能分组、过期自动提醒，以及危险源点的实时监控预警、自动评估、智能分析、综合判断等功能。

⑤矿用安全设备全生命周期监测系统

矿用安全设备全生命周期监测系统通过对矿用安全设备数据采集、分析统计，实现设备选型、采购计划、投产使用、在线盘点、监测分析、故障预警、巡检维修和报废再生的全生命周期进行闭环管理，使矿山能够实时掌握每台设备在开采区、井下巷道或库房等区域上的位置信息，为管理决策提供精准有效的数据依据。

系统包含以下功能：设备管理、感知数据在线监测、设备故障预警、设备全生命管理、移动 APP 端。

（13）矿山生产综合管控平台

建设智能管控中心，构建多业务、多系统一体化、可视化高度融合的智能综合管控平台，支持多种通信协议，将矿山生产、安全等多源异构系统数据进行采集、集成，让矿山运营透明可视、资源调度快速有序、生产安全高效协同，提升矿山运作效率和整体产能。

5. 应用案例

宣城全鑫矿业有限公司 30 万吨/年采选技改扩建工程项目于 2022 年 10 月开工建设，计划 2024 年 10 月投料试生产。技改主

要包括新竖井开拓、采矿井巷工程、矿机采矿设备、提升运输系统、选矿系统工程、新充填站及公辅配套设备设施。

为加强矿山智能化管控，提高自动化生产水平，融合矿山安全管理、生产管理、经营管理、机电物资及供应管理、财务管理、办公室、商务等矿山办公自动化，双重预防体系机制建设，目前规划对矿山综合智能信息化方案深化设计。

目前矿山在压风系统实现远程操控，安全监测监控系统、人员定位系统、视频监控系統、工业网络、应急广播等实现信息化。未来规划将实现主通风机、主排水系统远程操控，主井提升机及操车自动化运行，矿山综合信息管理，安全生产智能化管控等，建立智能信息化管控中心。

6. 技术难点

(1) 井下巷道断面普遍较小，对于一些大型地下矿山机械化设备如凿岩台车、撬毛台车、锚杆台车等无法应用。

(2) 井下无轨运输、有轨运输无人驾驶效率低。从技术层面能够实现井下运输无人驾驶，但作业效率远低于人工作业，普及难度大。

(3) 智能化矿山建设需要一支具备专业知识和实践经验的技术团队来进行规划、设计、实施和维护。小型矿山往往缺乏此类技术人才，导致智能化转型难以进行。

7. 措施建议

(1) 开发适用于小型地下矿山的机械化设备，进一步提高小型地下矿山机械化程度。

(2) 井下采掘系统难以远程或无人作业。由于受现场作业环境制约，尤其是采场区域信号及爆破作业影响，采掘系统远程控制或无人作业难以实现。

(3) 加强人才培养和引进。通过内部培训、外部招聘等方式，加强智能化技术人才的培养和引进，提高团队的整体素质和能力。