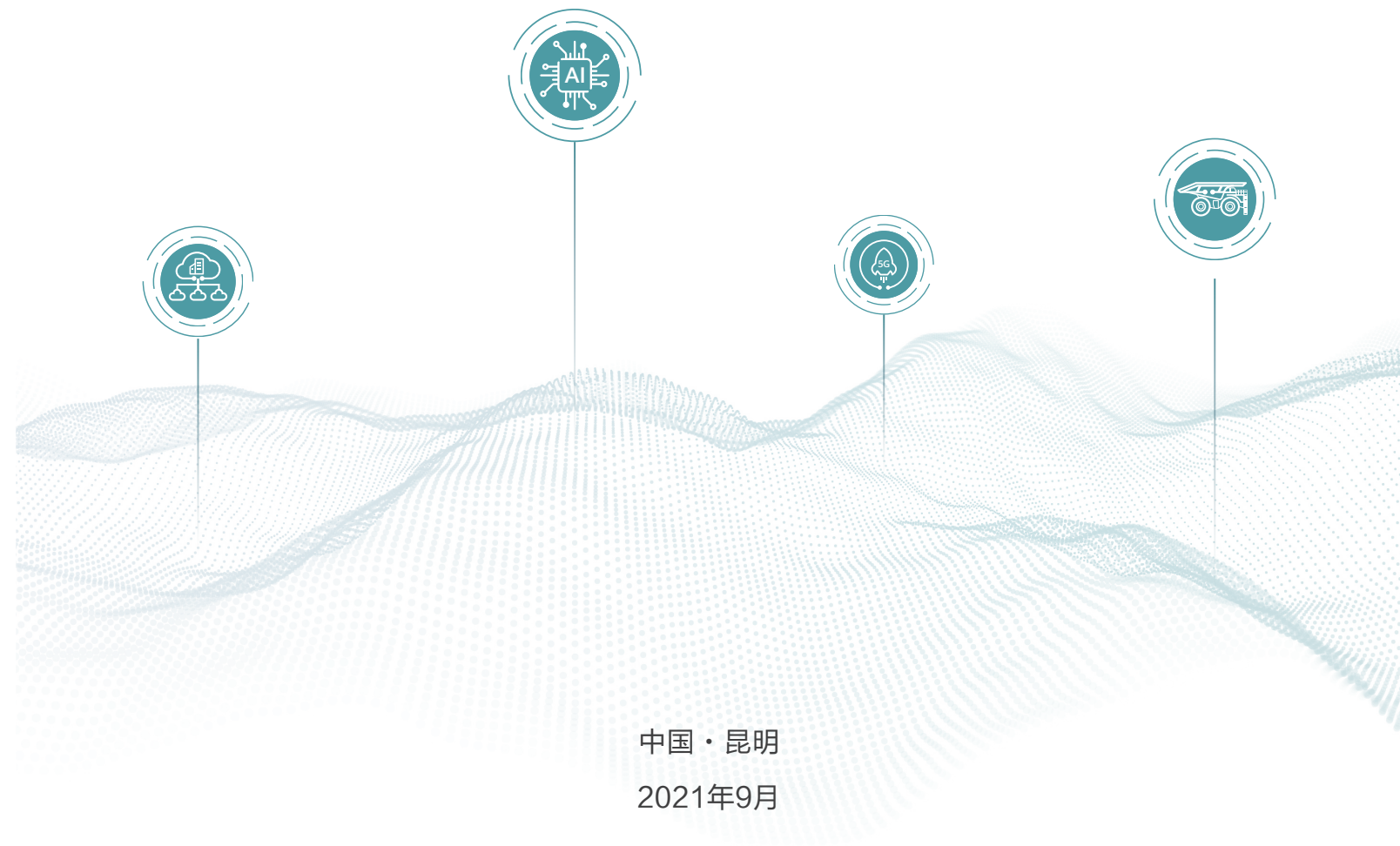
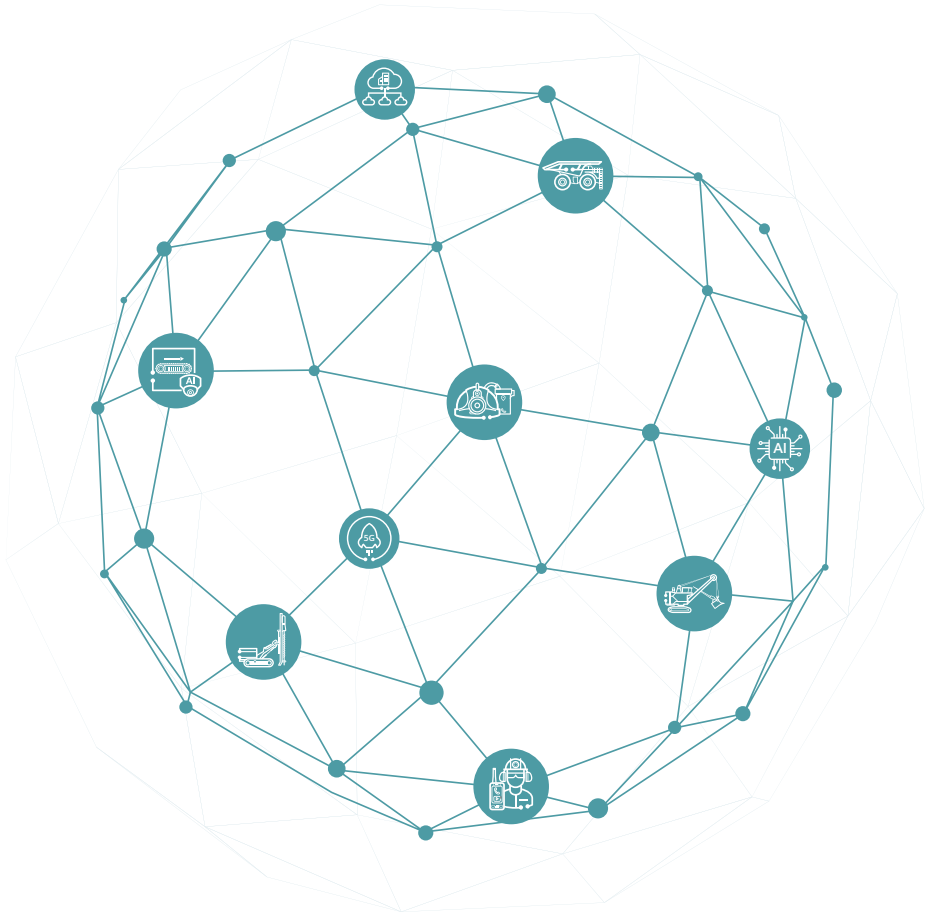


5G+云+AI: 赋能有色矿山数字化转型

白皮书



中国·昆明
2021年9月



序



桂卫华

中国工程院院士

近年来，信息技术、测控技术、云计算、AI 等技术飞速发展，为传统有色采矿业提供了全新的发展机遇，传统有色矿山正进入一个信息化、自动化和智能化的崭新而充满活力的发展阶段。同时，随着工业进程加快，对有色矿物需求持续增多，矿产资源开发呈现高强度、高消耗态势。

近十年来，大宗有色金属新增资源量中，多数资源位于高寒高海拔以及环境脆弱地区；地质条件复杂、高品位资源不足、开采难度递增、单位矿石生产成本低、未来劳动力风险大等，这些采矿业务中关键的结构性问题，迫切需要智能化、数字化加以解决；我们需要站在国家战略资源安全供给和时代发展的高度，重新思考未来有色矿山行业转型蓝图，重新绘制矿企生产、技术、管理等转型路径。

5G+ 云 +AI 在有色矿山的融合应用，是促进经济社会网络化、数字化、智能化转型的重要引擎，为有色矿山转型升级提供新基建数字化底座，并注入强大的发展动力。国内 ICT 技术、装备制造和行业应用类专家联合，深入到玉溪矿业、驰宏锌锗、迪庆有色、凉山矿业等有色矿企，与有色矿山行业专家深度协同，发挥 5G+ 云 +AI 等新型技术优势，以矿石流和业务流为经纬线，推动和支撑 5G、边缘计算、云计算、大数据、人工智能算法、工业互联、AR/VR 辅助等新一代信息技术在有色矿山企业生根落地，赋能有色矿企向数字化和智能化转型升级。

通过信息行业、有色矿山行业的交叉合作、产学研用的深度融合，白皮书中，清晰提出未来有色矿山“一副蓝图、一张网络、一个平台、N 个智能应用”的转型架构和实现路径；系统梳理矿石流和业务流各环节智能化场景，给出五大垂直应用和五大水平应用；除技术转型外，白皮书还阐述转型落地中的管理转型体系建设以及关键落地措施，体现技术和管理双轮驱动，将转型推向纵深。

5G+ 云 +AI 赋能有色矿山数字化转型，已经在中国铜业初战告捷、业已形成可复制、可迭代的行业转型范式。《5G+ 云 +AI：赋能有色矿山数字化转型白皮书》的发行出版，向我们展示出 5G+ 云 +AI 等新型技术推动工业发展的强大能力和行业协同交叉促进有色工业智能化发展的美好前景。

5G+ 云 +AI 作为数字经济的驱动力融入到千行百业，是对行业应用的赋能，更是对数据的技术价值和经济价值的深度挖掘。这些新型技术与有色行业密切结合，既要重塑行业自身的标准、规范、场景和目标，也要求有色行业自身勇于创新，让 5G+ 云 +AI 等技术融入自身、赋能自身。

在工业 4.0 和智能制造全面兴起之际，让我们以“安全、精益、智能、绿色”为有色矿山转型目标，共同拥抱有色工业数字化转型的浪潮，让新型技术为有色矿山赋能、赋值、赋智，为国家战略资源安全供给，保驾护航。

是为序。

主编单位：中国铜业有限公司 中铝智能科技发展有限公司

中国移动通信集团云南有限公司

华为技术有限公司

中国信息通信研究院技术与标准研究所

北京瑞太智联技术有限公司

中国移动（上海）产业研究院

参编单位：云南省通信管理局

玉溪矿业有限公司

云南迪庆有色金属有限责任公司

凉山矿业股份有限公司

云南驰宏锌锗股份有限公司

中铝智能铜创科技（云南）有限公司

中国电子技术标准化研究院

长沙迪迈数码科技股份有限公司

北京速力科技有限公司

intelMining 智能矿业

昆明理工大学

目录

●	概述	01
第一章	● 有色矿山智能化发展趋势	02
	1.1 发达国家有色智能矿山发展	02
	1.2 国内有色智能矿山行业现状及趋势	04
第二章	● 有色矿山数字化转型思路	07
	2.1 总体目标与建设原则	07
	2.2 转型思路与建设内容	08
第三章	● 全联接：转型基础	09
	3.1 智能矿山全联接网	10
	3.2 5G 专网	12
	3.3 MEC (边缘云)	18
第四章	● 平台化：数据载体	19
	4.1 云平台架构	19
	4.2 数据平台	20
	4.3 数据服务	21
	4.4 集成服务	22

第五章	● 安全性：业务保障	24
	5.1 矿山安全总体要求	24
	5.2 有色矿山安全方案	26
第六章	● 智能化：应用场景	33
	6.1 智能掘进	35
	6.2 智能调度	36
	6.3 智能运输	37
	6.4 智能转运	39
	6.5 智能充填	41
	6.6 智能通风	44
	6.7 智能生产	45
	6.8 智能辅助	46
	6.9 智能监控	48
	6.10 超远距控制	52
第七章	● 精益化：管理增值	53
	7.1 价值目标	53
	7.2 管理模式	54
	7.3 保障措施	55
	● 展望	58

概述

据统计，我国规模以上的金属矿山有近两万座，地下开采矿山占比 70%。其中，现代化程度较高、技术装备水平和资源综合利用程度接近矿业发达国家水平的大型矿山仅约 10%, 其他大型矿山和中小型矿山的装备，仍处在 20 多年前的水平，资源综合利用率低、管理方式粗放、安全环境问题突出。近年来，有色矿山，包括铜、锌、锗等战略资源，正面临资源匮乏、环境污染和安全事故带来的生产压力，矿业数字化转型升级正在加速进行。

有色矿山开采以地下开采为主，有色金属品种多，采选工艺多样，造成矿山自动化、智能化建设难度骤增。与煤矿相比，有色矿虽无瓦斯影响，但属于硬岩开采，地质条件复杂，品位分布不均，开采难度大。相比选矿、冶炼等，硬岩采矿具有工艺不连续、分支流程多、技术复杂度高、自动化程度低、作业周期长、劳动力密集、作业环境差、事故风险率高等特点。

5G+ 云 +AI 等新技术，与矿山行业进行深度融合，成为推动矿山网络化、数字化、智能化转型升级的关键驱动。并广泛作用于人力节省、效率提升、工艺优化、安全生产等多个方面。同时，结合生产、管控与决策做综合应用，不断催生出诸多新业务、新模式和新业态。

例如：5G+ 远控，在采矿环节的应用，可显著减少井下作业人员的数量，提高生产环境监测的准确性，极大降低重大安全事故的风险；5G+AI 机器视觉，能够更广泛地用于井下、移动、恶劣的环境，进一步拓展了 AI 在有色矿山的应用空间；5G+ 生产，通过大数据和 AI 算法，对矿山采矿、选矿生产过程、管理过程和操作过程节点管控的透明化、一体化，可详细分析各环节生产模式，实现矿山生产过程透明、可视、可控。

该白皮书先对国内外有色智能矿山发展趋势做了介绍，并给出有色矿山数字化转型的总体思路和建设内容；阐述了以增强型工业环网为主干，5G 专网、WIFI 等接入的统一承载，实现数据全面采集和系统全面互联；针对数据集成、数据治理与数据共享，给出以矿山数据共享平台为载体的平台化部署模式，让企业从基建中解放出来，聚焦核心业务；对于矿山安全，给出总体安全框架和解决方案，保障矿山业务安全；聚焦井工矿，对其矿石流和业务流各环节智能化场景梳理，给出五大垂直应用和五大水平应用。最后，在管理转型方面，给出数字化转型管理体系，及落地措施等，注重数字化转型中，技术和管理双轮驱动。

以“安全、精益、智能、绿色”为目标，通过一蓝图、一网络、一平台、一体系及 N 个智能化全场景打造，让 5G+ 云 +AI 为有色矿山赋能、赋值、赋智，有力驱动精益化的管理理念和无人化的生产方式变革，夯实矿山企业转型新基建数字化底座，在有色工业领域，尤其是铜、锌、锗以及矿山产业链上下游，树立可落地、可复制、可迭代的行业转型范式。

1 有色矿山智能化发展趋势

当前，全球矿业正在经历新的革命，新一代信息技术，将与矿山行业深度融合，促使矿山全面迈入遥控化、智能化、无人化时代。

1.1 发达国家有色智能矿山发展

西方发达国家从上世纪 90 年代就开始研究智能开采技术，尤其是美国、加拿大、澳洲等国家，为取得在采矿工业中的竞争优势，曾先后制定了“智能化矿山”和“无人化矿山”发展规划。2018 年，英美资源集团启动“未来智能矿山”计划。2018 年底，力拓批准投资 26 亿美元，在澳洲打造全球首个“智能矿山”项目。

加拿大：2019 年加拿大巴理科 (BARRICK) 对智能矿山进行顶层设计，包括重点创新领域和核心举措规划，确保公司智能矿山整体方向一致，便于在不同矿山资源之间进行快速复制、整合。对需求和能力分步实施，逐渐从早期的实时数据监测过渡至智能化生产，并向公司层面的一体化智能运营进军。


领域	核心举措	当前进展及效果	
数字化矿山	实时生产监控	<div><div>✔</div>已完成数据平台搭建和数据可视化展示</div> <div><div>✔</div>基于平板的关键矿车设备和矿工跟踪在 Cortez 等矿山落地</div>	
智能化生产	地下短时限控制	<div><div>✔</div>基于实时数据，对矿工和设备进行调配和管理。</div>	
	预测性维护	<div><div>✔</div>为矿车的排气系统等设计故障预测模型，可提前 6 天预知故障，并对维修工人进行合理配置。</div>	
	智能化矿产处理	<div><div>✔</div>通过地质数据分析进行更精细的勘探和生产，如在堆浸流程中对相关试剂的配比进行智能调整、智能化爆破控制。</div> <div><div>🔧</div>进一步运用机器学习技术在研磨和堆浸等阶段实施辅助决策，提升采矿回收率和产量。</div>	
一体化运营	一体化数据平台	<div><div>🔧</div>分析内外部形势波动，从公司层面优化整体矿产资源价值、降低运营风险。</div> <div><div>🔧</div>在公司层面通过领先数据（Best-in-class）收集促进精益化管理。</div>	

图 1 BARRICK 智能化举措与进展

美国：2020 年初，美国纽蒙特 (NEWMONT) 有色金属矿企，基于原有的科技规划全景，将数字化 / 智能化上升到公司层面，作为未来效益提升的主要抓手，设立专项负责人，在各领域选取技术领先的合作伙伴，从公司层面为其赋能。

领域	核心举措	当前进展及效果
智能矿山	通过两项专利技术实现 3D 勘探开发模型	成功勘探矿山 6 个
	借助 VR, Vulcan 等技术软件，并结合临界品位对矿山进行开采规划，已在 Tanami 试点	工程设计时间缩减 98%
集中式设备支持	通过设备健康中心监控设备使用情况、进行预测性维护，已在 Neveda 等 5 个矿区落地。	设备停工期减少 20%
智能化生产	将全自动机械用于矿石运输等流程，并通过 AI 提升其效率，澳洲 Boddington 试点中。	预计整体 IRR≥35%
智能化员工管理	通过穿戴式设备监测矿工疲劳状态，同时提供通讯和时间管理功能，已在 Carlin 试点	矿工疲劳驾驶减少 87%
智能化矿石处理	设立矿石处理控制中心对处理设备进行智能控制和精益化管理，已在澳洲和加纳试点。	预计成本缩减和效益提升价值 \$2.8mn
高级分析工具	通过高阶数据分析手段提供流程最佳实践	尚处于研发阶段

图 2 NEWMONT 智能化举措与进展

澳洲：力拓在十多年前开始使用自动化机械，并逐渐拓展到价值优化、数据科学和人工智能等新兴领域，每年在技术研发上的投入超过 2 亿美元，并在地表和地下采矿、矿物加工和自动化等领域建立了卓越中心，为各项业务的开展提供技术保证、服务和支持。如今在皮尔巴拉矿区的自动化大规模运作已超 10 年。

力拓早在 2014 年初就开始部署首个基于机器学习的工具，优化了关键资产的预测性维护。为了更好地把握数字机遇，力拓创建了开放式数据环境，使其能够将市场上最优秀的人才和工具引入到业务中，推动了数字化进程。2000 年，力拓已经开始研究 MAS 矿井自动化系统，作为复杂的人工智能和机器学习平台，有助于提供实时的操作意见与建议。如今，这套系统几乎可以追踪矿山中的每一件事，甚至每一桶材料的含量、储存模型、混合参数等，大大提高了生产力和生产效率。

除此之外，力拓一直致力于尾矿处理，于 2015 年引入了全球尾矿标准，2020 年该标准得到力拓采矿卓越中心技术团队的支持。目前力拓正在积极寻求新的更好的方法，以减少作业造成的浪费，并改善对尾矿的管理。与此同时，在水资源利用和循环利用方面也取得了显著进展。

1.2 国内有色智能矿山行业现状及趋势

有色工业是我国制造业的基础产业，是实现制造强国的重要支撑。矿山开采是有色工业的上游传统产业，其发展质量直接影响行业发展。当前，有色矿山装备自动化、智能化水平落后，人员结构老化、整体生产效率不高等问题突出，依靠规模和人员数量的方式越来越不适应发展，转型升级已成为行业共识。

近些年国内矿山数字化、智能化取得了长足进步和一定成果，主要表现在地表地下网络设施，矿山建模和模拟，选厂流程自动化控制，矿山通风、排水、提升等固定设置自动化控制，安全监测监控，办公软件系统等方面。但对于采矿，尤其是地下开采环节，国内暂时还没有矿山实现完全的智能化和自动化。

1.2.1 有色矿山主要问题

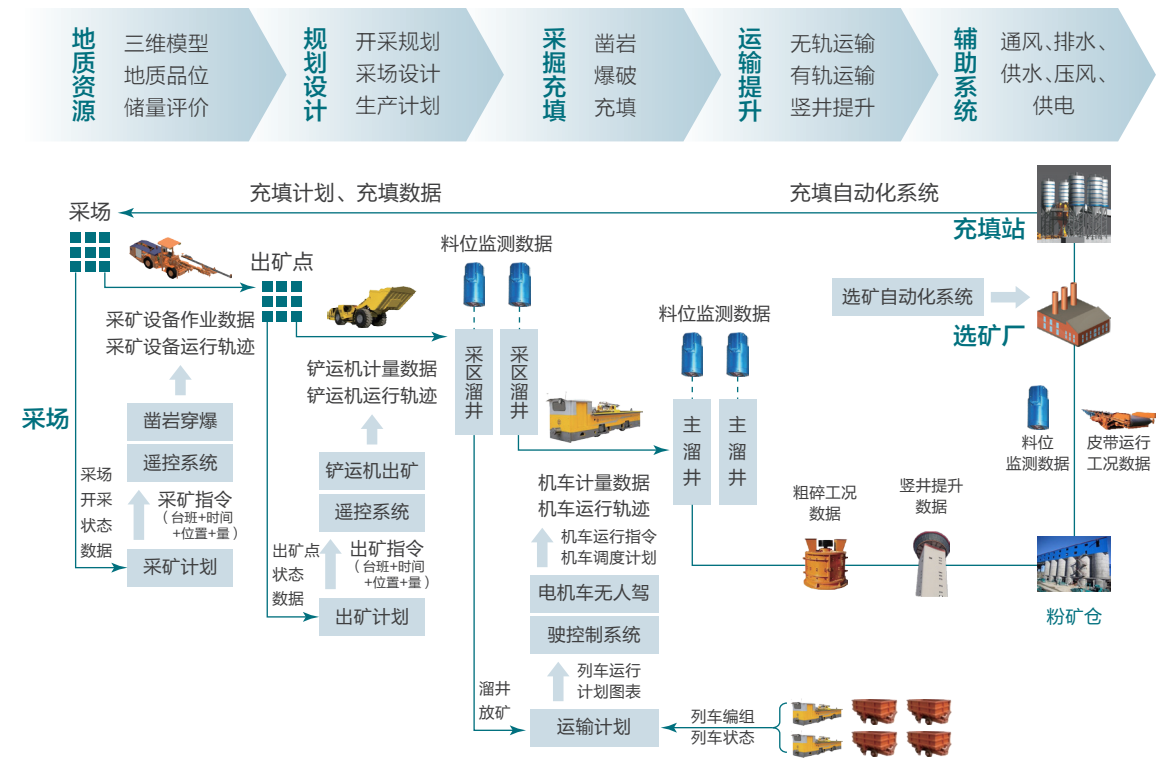


图 3 有色井工矿生产工艺流程图 - 矿石流

有色金属品种多，矿体赋存复杂多样，品位分布不均，开采流程远比煤矿复杂，系统分散，融合度差。

采矿环节：作为矿石流的核心环节，相比选矿、冶炼等环节，其工艺不连续、分支流程多、技术复杂度高、自动化程度低、作业周期长、作业环境差、事故风险率高等特点。采矿必须掘进一系列巷道，进行采准，然后开始回采作业。采矿设备和人员需随采矿进程和加工对象转移，无固定的加工车间。采矿对岩体的扰动增加了安全风险，而且作业环境的动态变化使得生产自动化、智能化实现难度变大。

选矿环节：金属成份多，选矿工艺和流程复杂，涉及多种化学和物理变化，且存在原料变化和工况波动等情况，生产控制技术要求高，故障诊断和处理复杂。由于原料成分、设备状态、工艺参数和产品品质等难以进行实时、全面检测，导致难以建立精确的生产过程数字化模型，进而难以实现优化控制。选矿流程自动化、智能化水平不足。

信息系统：国内部分大中型矿业集团已经开始矿山数字化与智能化建设，但由于顶层设计不足，导致信息化、自动化建设无序，部分矿山虽已建立了独立的数据库、机房、软件系统等，但系统数据接口不统一，可扩展性、可移植性差，无法实现互联互通，信息系统与工艺、设备未能有效融合，信息孤岛问题凸显。

1.2.2 智能化趋势及进展

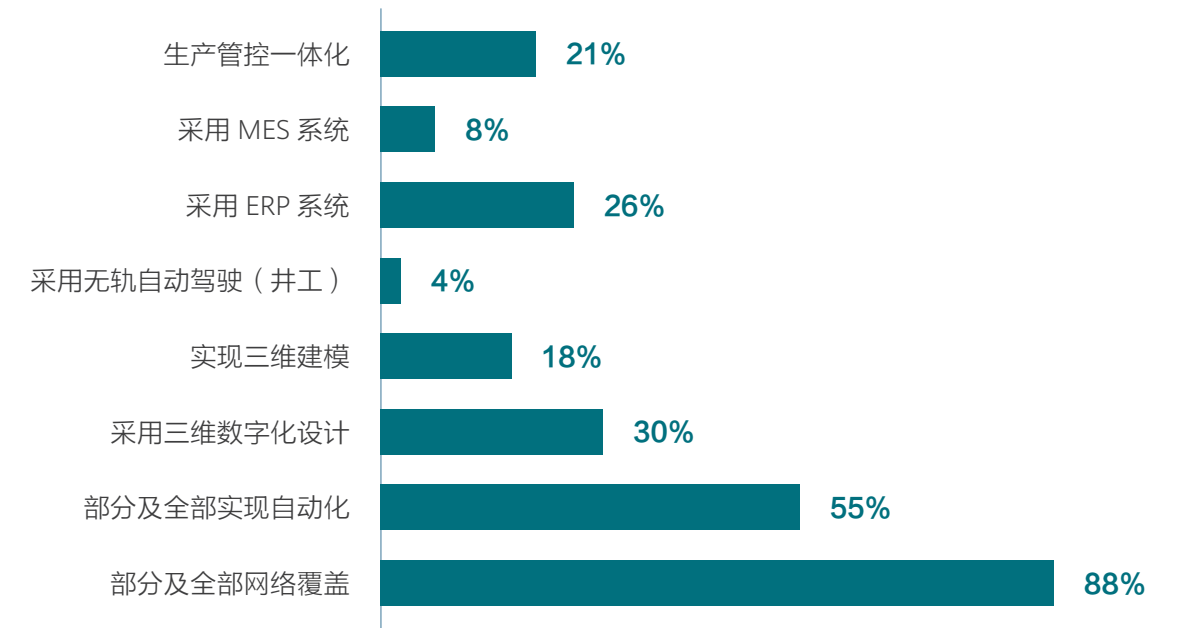


图 4 智能化进展程度调研

（备注：调研了 164 家有色金属矿山企业，金属品种包含铜、铝、铅锌、镍、黄金等，覆盖了有色金属资源大省，包括黑龙江、江西、云南、四川、新疆、西藏等，并对典型有色矿山进行了现场调研。结合调研结果分析，从矿山规模看，大型矿山 28 家，中型 54 家，小型 82 家，分别占比 17%、33%、50%。从矿山开采类型看，露天开采、地下开采、联合开采分别占比 12%、80%、8%。）

从智能化进程调查数据看，实现部分及全部网络覆盖的矿山企业占比 88%（主要以传统工业环网和 WiFi 为主，5G 专网不足 3%），实现部分及全部自动化的占比 55%。采用三维数字化设计的占比 30%，实现三维建模的占比 18%。20 家露天矿山企业中，实现露天卡车智能调度的占比 30%；地下矿山中，实现无轨自动驾驶系统的占比仅为 4%。软件系统应用方面，采用 ERP 系统的企业占比 26%，采用 MES 系统的占比 8%，采用生产管控一体化软件占比为 21%。

整体来看，矿山智能化发展已取得一定进步，但数字化和自动化发展尚未完全实现，总体水平有待提升。同时，各矿山企业在数字化、自动化建设方面发展极不平衡，同一企业内部不同生产经营环节的技术水平也存在较大差别。大型矿山技术发展水平明显优于中小型矿山。一些技术发展水平较高的矿企，已经实现了数字化、自动化、以及关键工序的智能化。

智能化建设需总体规划，做好顶层设计。当前智能化建设缺乏整体规划，系统兼容性差，数据彼此独立，未能实现共享。规划与实施“倒置现象”严重，前期建设的系统与后续规划无法统一，或需要改造升级，或存在重复建设，严重增加了企业投资成本。

“十三五”期间，国家出台多项政策推动矿山智能化技术的发展，形成了地下智能铲运机、智能装药车、有轨运输智能化调度系统、泛在信息采集与无线通讯系统、无轨设备高精度定位与导航系统、智能调度与控制平台等一系列原创性成果。

“十四五”期间，矿山企业将继续深化供给侧结构性改革，以 5G、大数据、云计算、区块链等技术，引领采选、运转、加工、储运、消费和矿区充填等生态环境治理，构建现代化矿业经济体系。未来，智能矿山建设需借助 5G 等新一代信息技术，提升矿山生产效率，提高安全管控能力，实现高质量发展。



2 有色矿山数字化转型思路

2.1 总体目标与建设原则

“十四五”期间，中国全面进入数字经济时代。数字化转型已经成为大型矿山企业“十四五”的“新基建”。当前，为推动矿山行业数字化转型，将数字技术与矿山行业做深度融合，基于数据不断开发数字化的产品和服务，必须做到对人、机、物、环境等数据的全面采集，并以此为基础，数据治理和集成共享，形成数据驱动，实现智能生产与智慧运营，达到“安全、精益、智能、绿色”的价值目标。

有色矿山数字化转型总体目标为：全面提升矿山安全生产与管理水平，改善工人井下作业环境，实现监控、生产、维护、安全等多个环节少人化、无人化；构建面向矿石流的全流程智能化管控系统和面向业务流的经营决策系统；以数据技术驱动业务流程和组织结构的创新及优化，解决与安全、效益强相关的重大问题，在安全、效益、管理三大领域，实现价值创造和再造。

有色矿山数字化转型，将采取“整体规划、分步实施、基础先行、重点突破”的方式，根据矿山自身智能化建设的现状与差距，因地制宜，注重实效，做好顶层设计和分步实施计划，逐步完成智能矿山各大系统新建与改造。

整体规划 分布实施	<ul style="list-style-type: none">需顶层设计、急用先行，对当前痛点，需重点突破；网络筑基、平台先行，在统一数据平台的基础上，系统架构统一规划；单系统应用分步实施，保证系统延展性。
创新引领 数据驱动	<ul style="list-style-type: none">完善自动化采集、打造共享数据平台，建立面向生产和经营的两大系统；<ul style="list-style-type: none">-- 面向“矿石流”的智能生产管控系统；-- 面向“业务流”的经营决策精益管理系统。
合理利旧 保护投资	<ul style="list-style-type: none">系统梳理传统 IT 架构系统，部分可作共享数据平台的数据源，发挥剩余价值；对无法满足需求的老旧系统，实行新建；逐步推进传统应用向云化部署，实现存量利旧和增量新建的合理过渡。

2.2 转型思路与建设内容

转型推进中，将以数字化作为基础，基于“数据驱动”的理念进行智能矿山规划，构建智能矿山系统架构。“网络筑基、平台先行”，基于 5G 专网和矿山数据共享平台的云边端架构，实现精准、实时、全面的数据采集与集成共享，打通业务子系统数据融合管道，消除信息孤岛。“以问题为导向，突出改造重点”，将自动控制系统、业务可视和智能化改造为重点突破口，实现安全、生产、技术、管理、决策五个层面的智能化提升。本白皮书提出“1111N”的转型思路。

顶层架构：“1”副蓝图全统筹。从全局层面进行顶层设计，结合矿山自身能力和业务需求特点，分步实施，有序推进智能矿山建设，打造本质安全、资源集约、绿色高效的智能有色矿山，促进有色矿业企业数字化转型升级、高质量发展，全面提升企业的综合竞争力和可持续发展能力。

互联互通：“1”张网络全覆盖。全联接网络是矿山数字化的基础，需要建设一张全覆盖、大带宽、关键业务高质量保障的网络，实现矿山井上井下，人、设备、环境、生产等数据“上得去”、智能算力“下得来”，做到矿山智能全面感知、支撑好信息融合和系统联动。

数据共享：“1”个平台全打通。打破矿山各生产环节及各业务中心间的数据壁垒，建设集数据集中、集成、共享、分析和挖掘等于一体化数平台，更好地将数据作为资产加以组合利用，支撑管理决策、资产增值和价值创造。

安全防护：“1”套体系全保障。兼顾矿山通用安全要求及部分扩展要求，基于总体安全框架体系，构建矿山安全技术及管理体系，全面提升矿山信息系统整体安全防护能力，识别和抵御安全威胁，化解各种安全风险，打造有色矿智能化发展的安全可信环境。

业务创新：“N”个应用全智能。对矿山生产和运营各环节，实现全流程、全生命周期的智能化应用，实现少人化、无人化、精益化。

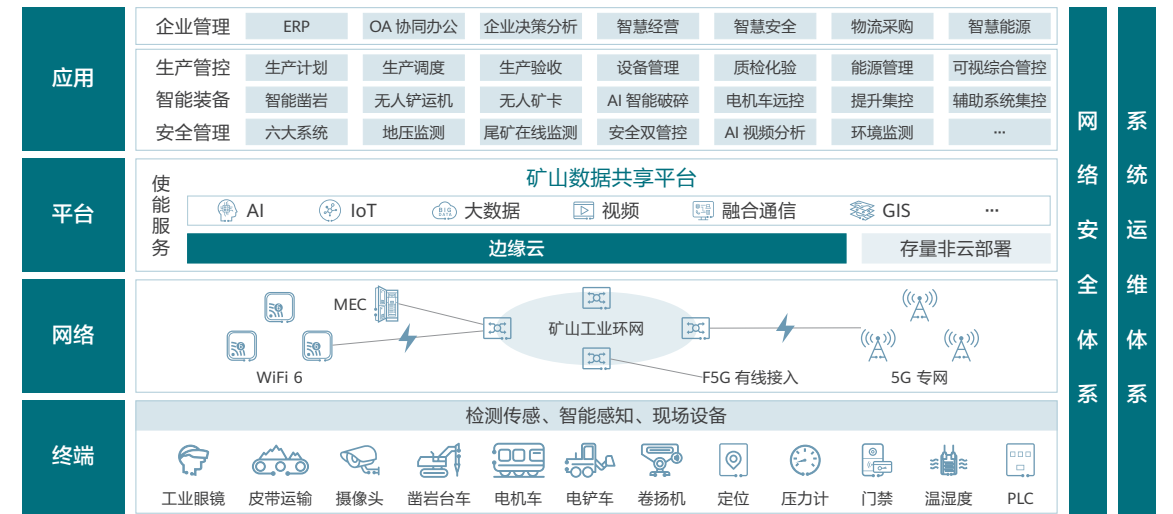


图 5 有色智能矿山总体架构

智能矿山建设，主要包括全联接，矿山数据平台，智能化应用与精益化管理。主要通过 5G、AI、IoT、云计算、大数据、机器人、智能装备等先进技术与现代有色矿山综合开发利用，从设备、网络、平台以及上层应用多角度进行智能化的提升和改造。

3 全联接：转型基础

建设智能矿山，全联接网络是基础与前提，需要建设一张全覆盖、大带宽、关键业务高质量保障、统一承载、统一运维、多场景灵活接入的网络，实现矿山环境、设备、车辆、物料、人的数据“上得去”，矿山执行控制系统及智能算力结果“下得来”。

生产可视
井下生产全过程、全要素集中可视化监控



视频智能分析

少人无人
实现井下少人化、无人化，“无人则安”



人员 / 车辆精确定位

智能采矿
自动化、智能化采矿、运矿、选矿



生产状态全面感知

智能决策
多系统一体化，数据信息共享分析



远程生产控制

机器人巡检



机器人巡检

远程驾驶



远程驾驶

智能选矿



智能选矿

全联接网络：让生产数据上得去 + 让智能算力结果下得来



有线 / 无线全覆盖
泛在联接各类智能终端、设备、传感器

+



大带宽承载
满足视频监控、远程驾驶等业务带宽需求

+



高质量保障
保障远程生产控制、机器人巡检等业务质量

传统有色矿山井下有多张工业环网，比如安全监控环网、视频监控环网等，这些网络是随着业务发展离散建设，无统一规划，多张网烟囱式并存，随着矿山智能化建设发展，井下业务将逐渐增多，带宽，可靠性，低时延与安全需求也会越来越多，现有模式与网络存在一些不足：网络建设成本高、网络运维困难、网络不互通、数据无法共享，业务系统上线慢；技术老旧，无法做到全联接，无法保障网络 SLA，无法保证网络安全；无法支持多场景灵活接入，无法满足敏捷运维，无法实现精准控制。

通过引入增强型工业环网、5G 专网、WiFi6 等多场景接入方案，结合传统技术（传统工业环网、UWB 等），实现整个矿区所有设备全联接，实现人员、机械、环境数据的实时交互，对状态的实时感知，支撑有色矿智能化建设与改造。增强型工业环网，支持一网通达、多网合一、统一管控、网络切片，实现智能矿山各种高可靠业务、全场景安全保障、极简运维；5G 专网实现移动场景大带宽、超低时延接入，通过 5G 切片实现业务安全隔离，初期可聚焦刚需或增强型场景，比如有轨智能远控 / 无人电机车、5G 远控 / 无人铲运车、5G 远控卷扬机、AR/VR 远程维护与泛移动场景；5G/WiFi6 场景协同、技术互补，构建大带宽、超低时延的井下全联接网络，丰富应用。

3.1 智能矿山全联接网

3.1.1 智能矿山网络总体架构

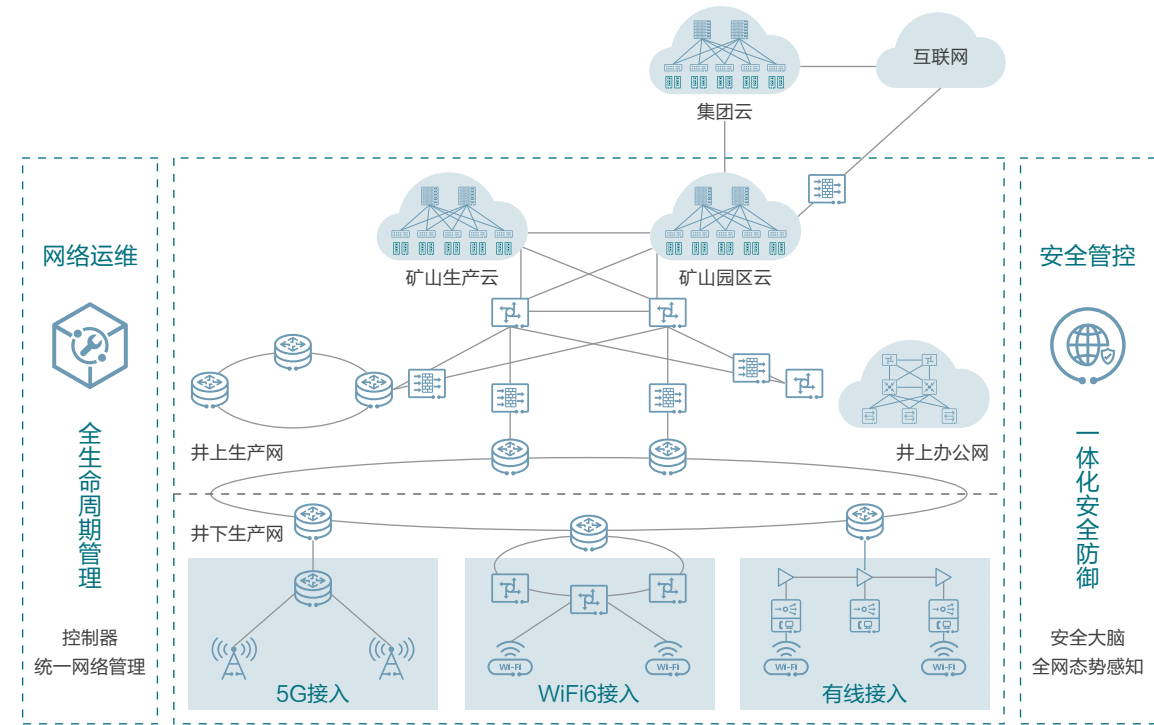


图 6 智能矿山网络总体架构

智能矿山全联接网总体架构：包括核心交换机、办公管理网络、矿山生产网（井上 / 井下）、网络运维、安全管控等部分组成。

核心交换节点：核心交换机负责连接其他区域，骨干区域通过万兆互联，实现区域之间的高速数据交互与共享。采用 2 台核心交换机集群部署，单设备具备冗余主控、冗余监控板、冗余交换网板、冗余电源。实现控制平面、监控平面、数据转发平面的分离，达到业界最高级可靠性。通过防火墙部署实现与各区域的安全隔离。

办公管理网：办公网实现矿山办公区域全覆盖，遵循数字化、高速化、智能化、标准化、安全可靠、易扩充升级的原则进行设计，对网络系统进行结构分层，做到层间相对独立，实现主干万兆、千兆到桌面。

矿山生产网（井上 / 井下）：生产网骨干层由骨干路由器组成，通过 50GE/100GE 链路构建骨干环网，承载全网所有的流量，利用切片技术，建立物理隔离的网络通道，不同业务之间无干扰稳定运行，实现业务高可靠、高质量承载，生产网接入侧包括 5G 基站、万兆接入路由器或者交换机、Wi-Fi 6 AP，为智能矿山隔离终端提供有线和无线方式的接入。

网络运维 统一网管实现全网网络可视、业务可视,通过AI智能算法实现网络告警压缩、故障根因分析,通过随流检测实时检测关键业务质量,实现网络 and 业务的智能运维。

安全管控 智能矿山网络安全建设思路是构建“合规、有效、智能”的多层次纵深安全防御体系。合规: 矿山企业要按照《网络安全法》和政府部门的相关发文,按照等保 2.0 的要求完成相关系统的网络安全加固,满足安全等保合规的要求;有效: 建设多维度纵深防御体系,可有效防护常规已知攻击、未知攻击、APT 攻击,确保矿山生产系统的安全;智能: 智能检测网络威胁,全网态势感知,自动闭环处置,大幅降低安全运维成本。

3.1.2 矿山生产网建设方案

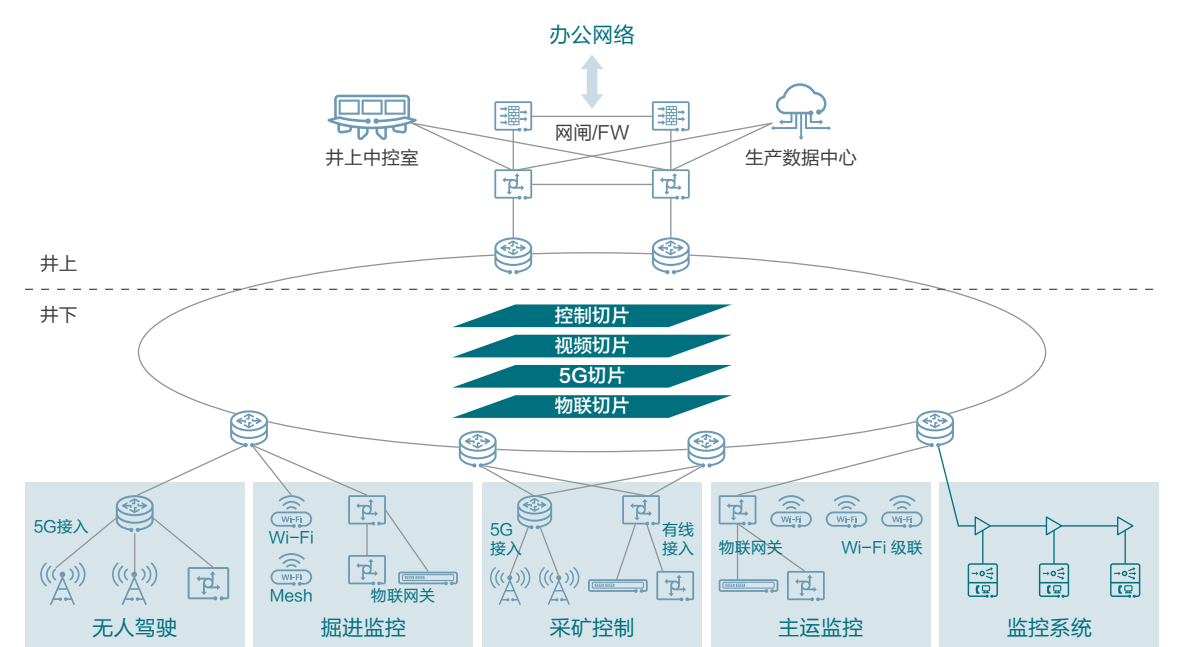


图 7 矿山生产网架构

针对井下网络的新需求,需建设一张多网融合的工业环网来支持井下业务的高速发展。

超宽承载：满足矿井智能化业务的持续演进

井下业务自动化、智能化、无人化,各类智能应用的持续发展,特别是井下视频流量会增长较快,会导致网络出现拥塞、卡顿、体验差。超宽基础网络构建井下 50GE/100GE 骨干环网、10GE 接入链路,满足智能矿井未来业务日益增长的带宽需求。初期采用 50GE 端口组网,能够满足视频通话等业务演进对网络大带宽的需求。同时,未来匹配流量增长网络设备支持从 50GE 到 100GE 的平滑演进,能满足井下未来 5~10 年的带宽需求。

多网融合：网络分片保障井下业务统一承载

当前井下多个系统并存的局面也导致了井下有多张工业环网,各个网络烟囱式建设,网络部署维护效率低、成本高。井下多网融合承载网解决方案,通过 FlexE 硬隔离切片技术,在一张物理网络上,构筑井下多张硬隔离切片专网,满足井下人员通信、传感器信息采集、井下远程控制等业务的硬隔离、低时延承载需求。井下业务统一承载,减少设备数量和运维压力,既保障矿山业务体验,又降低建网成本,同时又可以提高运维效率。

灵活接入：满足井下移动作业特殊场景

井下接入无线化,通过部署 5G 基站、WiFi6 AP 实现无线接入,打造井下大带宽、低时延、高并发、无缝漫游的无线网络。

动态互联：保障业务灵活路由和网络弹性扩展

三层到边缘,避免大二层网络广播风暴风险,支撑业务井下互通、就近转发以及流量均衡。网络扩展无需精确规划,随巷道延伸、灵活部署。

快速定位：保障业务快速恢复

通过随流检测技术,能够基于业务流,呈现业务真实路径,反应流量丢包位置,使故障快速解决,使业务快速恢复,保障井下生产安全。

3.2 5G 专网

矿山的部分作业系统,已在做智能化与远程控制的尝试或商用,比如有轨电机车,无人铲运车,远程卷扬机等,目前多数矿井的智能控制都是基于有线网络(包括 WiFi),但有线网络运维麻烦,经常断线,WiFi 信号不稳定,容易被干扰,无法保证稳定性。

另外,矿山智能化离不开数据和信息的高效互联互通,不同应用场景的数据特点和传输需求差别很大,传统技术难以满足差异化需求,无法满足全联接需求。5G 大带宽(尤其是上行带宽)、低时延、广连接、高可靠的特性以及边缘计算、切片技术等能力,为矿山智能化数据传输铺平道路,同时边缘计算可以支撑 5G 智能化应用本地部署,数据不出局,支撑算力本地处理。

近年来在各行各业已部署数百张 5G 专网,重点分布在矿山、钢铁、港口与制造行业,运营商 5G 专网服务能力已成熟。

本节重点阐述的 5G 独立专网部署模式,是有色矿山的主流部署模式。有色矿山采掘面爆破作业中,掘进面存在可变性和移动性,爆破环节会导致矿山有线网络无法部署。运营商可提供“可移动”的 5G 专网覆盖特色服务,使能矿山掘进面智能化作业。

3.2.1 5G 专网总体架构与部署模式

有色矿山 5G 专网方案，由端侧、无线接入侧、承载侧和核心侧组成。

端侧：包括传感设备、摄像头、控制器、工控机等自动化控制部件，以及路由器、5G CPE 等设备。

无线接入侧：即 5G 基站及其无线覆盖小区。5G 基站覆盖矿区和控制室，实现对矿山装备和控制室的连接。

承载侧：采用 FlexE 物理隔离和 VPN 逻辑隔离的方式，组网可采用环形组网，实现高可靠性，保障业务安全。

核心侧：包含矿区 MEC 和运营商 5GC 大网，在矿区新建 MEC，实现矿区业务低时延接入。

5G 专网部署模式：

租用模式：运营商结合本地网建设和有色矿山客户的需求特点，建设一张矿山专用网。这类网络的建设与个人用户网络的主要差异在于：专网需满足行业具体部署场景和特定客户群的具体需求，做客户化部署和集成。

买断模式：运营商标端到端把 5G 专网建设好，整体由矿山买断。这类场景下，矿山首期投资大，后期维护设备与节点多，还需运营商专人驻场。

5G 专网关键特性与优势：

全业务覆盖规划：通过各种覆盖技术方案，比如室内覆盖巷道关键业务节点，漏缆覆盖长距离巷道，拐弯以及信号遮挡区域，增加覆盖点位等，通过业务画像，业务建模，行业专业规划等方法，进行矿山全场景规划，支撑矿山业务全覆盖。

矿区“可移动”5G 专网：在掘进面，可提供 5G 可移动专网特色服务，运营商提供井下临时应急车，回传可就近接入增强型工业环网。

链路安全可靠：局域网如 AR 采用 1+1 热备方案，终端采用双 CPE 组网接入 5G 网络，一个小区接两个 CPE，在关键区域（如掘进面），采用双基站覆盖，实现高可靠性。

数据不出园区：核心网下沉至矿区，生产数据不出矿区，保障生产数据安全性与保密性。

业务安全可靠：5G 端到端切片技术，在矿区多业务并发情况下，保证各个业务独立网络通道，做到业务网络 SLA 质量保障。

生产不中断：采用核心网风筝方案，控制面主要信令下移到矿区核心网节点，即使在运营商大网连

接中断时，5G 专网服务依然得到保障，生产不中断；

上行容量增强：矿山装备进行网络化、智能化升级后，5G 网络需要支撑多类流量的交互，包括监控视频、PLC 控制指令、高频工业相机数据、高精定位信息等。某些业务场景要求多设备上行并发，最高速率至 1Gbps 要求，5G 采用时隙反转，超级上行，分布式 Massive MIMO，做到上行 1Gbps。

业务实时增强：大型生产装备和控制系统的远程操控对时延要求高（15-30ms），且要求高可靠和近乎零丢包。5G 专网从架构与空口等进行优化设计，支撑超低时延业务，例如核心网下沉显著减低时延，满足不同业务对时延的要求。

矿区业务连接 SLA 可视：矿区 IT 人员可通过业务联接视图获得业务联接上下行带宽与数据往返时延等 SLA 关键实时数据，方便日常运维。

矿区业务连接故障自动定界：5G 专网管理系统提供矿区网络故障监控，包括业务、切片、网络、终端的事件管理和基础故障及性能告警定界。

3.2.2 “可移动” 5G 专网部署方案

有色矿井下盘区掘进面需要爆破作业，存在独特的安全挑战。地形频繁变化，爆破后存在一氧化碳等有毒废气，浮石，坍塌等情况，为人员安全考虑，凿岩台车，撬毛台车，喷浆台车等设备，有远控需求，大带宽与低时延网络传输成为必需。这种场景光纤无法部署，会发生断裂，而且在固定区域掘进操作不具备永久性，需 5G 临时网络部署方案。

可移动 5G 专网部署方案包括：

可移动 5G 基站与控制室：井下临时部署小微型应急通讯车，应急通讯车具备井下行驶条件，车内配置控制室与微型基站或可搬迁 5G 基站。



可移动 5G 专网回传：井下临时通讯车通过光纤就近接入工业环网节点，如下图所示。在设计增强型工业环网节点时，尽可能支撑新增巷道或作业面的便捷接入。

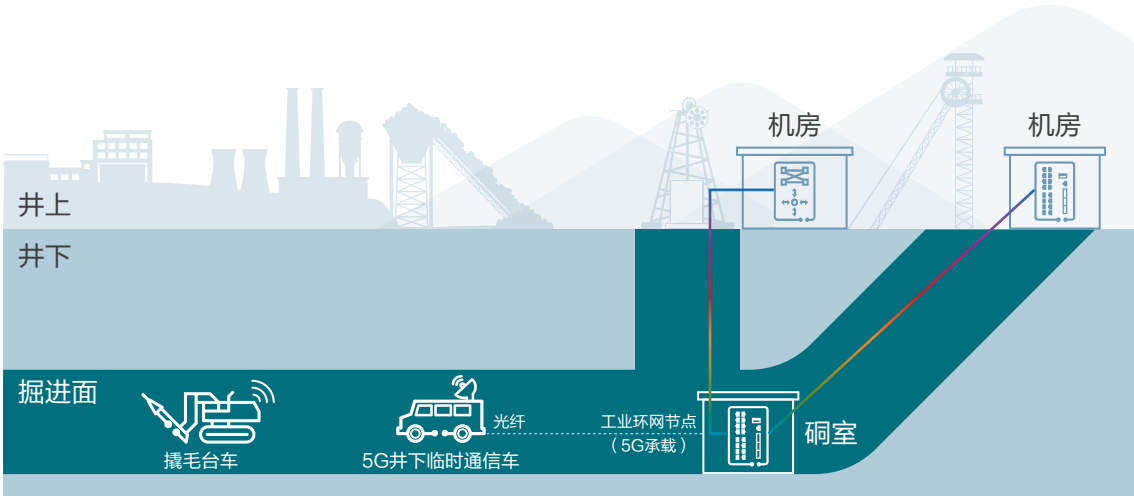


图 8 可移动 5G 专网回传方案

3.2.3 5G 专网业务建模与网络规划

5G 专网业务建模与规划面临诸多挑战。从业务场景到网络需求的准确转换难。如何能够对矿山业务场景和业务体验要求进行精准的描述，转化为 5G 网络容量要求、小区覆盖要求、组网架构要求、产品选型要求、站点部署要求、频谱适配要求、干扰控制要求、配套要求等；矿山环境复杂。网络高质量规划设计难，5G 矿山专网建设需要进行针对性、精细化的网络方案规划设计，并在场景中反复验证和调整，才能真正支撑矿山各类业务高质量运行。

业务建模：结合业务工作空间、边缘业务应用系统等相关维度参数，在业务层面进行模型构建，用于定量描述实现该业务所需的网络能力参数和边缘数据中心资源能力参数，以指导网络模型建模和边缘数据中心资源规划建设。每个场景应用需要业务类型、业务流量模型、业务性能要求模型等。

应用类型 *类型	业务 重要 程度	*UC/ 业 务系统 (硬件)	摄像 头路 数	摄像头配置 (定码率/ 变码率/ 帧 间隔/ 帧率 /码率上限)	*UC/ 业 务系统 (软件)	业务类 型	应用 区域	SLA 业 务分类协 议类型 (硬件)	占用频段 (GHz)	*接入 网络 方式	*时延 需求 类型	上行 时延 (ms)	下行 时延 (ms)	* 允许 丢包率	*可靠性 要求	传输间隔	传输间隔 门限	生存 时间	UE 移 动速 度	5G 连 接点 高度 (m)	服务区域
视频监控	高	白光摄像头	2	500 万像素	每个巡检 机器人终 端对应 1 个集控平 台 PC， PC 支持 双网卡， 需安装 2 套控制软 件，手工 切换；如 需支持自 动切换系 统软件做 定制开发	eMBB	室外	B 类： MBB 时 延体验			单边	100	/	1.00%	99.90%	/	/	/	/	10m	/
视频监控	高	热成像 384*240 摄像头	1			eMBB	室内	B 类： MBB 时 延体验			单边	100	/	1.00%	99.90%	/	/	/	/	10m	/
数据采集	高	传感器数 据上报	/	/		mMTC	室内	E 类： mMTC	2.6GHZ/ 100MHZ	CPE	单边	100	/	1.00%	99.90%	≥10ms	± 5%	0	7.2 km/h	10m	≤ 100 m x 100 m x 50 m
控制信号	高	巡检机器 人控制模 组	/	/		URLLC	室内	D 类：极 致时延	2.6GHZ/ 100MHZ	CPE	单边	/	20	1.00%	99.90%	2ms	± 500ns	2 ms	7.2 km/h	10m	≤ 100 m x 100 m x 50 m
语音对讲	高	语音通讯 模组	/	/		eMBB	室内	C 类：高 可靠低时 延	2.6GHZ/ 100MHZ	CPE	交互	150	150	1.00%	99.90%	2ms	± 500ns	2 ms	7.2 km/h	10m	≤ 100 m x 100 m x 50 m

表 1 巡检机器人业务需求模型

网络规划：包含覆盖与容量、5G 专网高可靠性、CPE 工业组网与专网网管等规划。

覆盖与容量规划：根据建网标准，做容量规划、组网规划，其中涉及无线、边缘云、移动回传网、承载网，并完成覆盖规划与覆盖仿真。

5G 专网高可靠性规划：基于业务规划方案进行高性能专网规划，包含组网模型、风险分析，网络级、网元级以及链路级等可靠性组网规划。

CPE 工业组网规划：基于业务规划设计方案进行 CPE 点位规划及工业组网规划。

专网网管规划：基于业务规划设计方案进行园区专网网管规划，包含 CPE 网管及网元北向集成规划、大网与专网运维权限隔离规划设计。

5G 远控铲运车运行区间覆盖方案示例：

业务：无人铲运车安装 4 个摄像头，两路雷达信令交互，一路 MC/MU 控制交互，一路定位读卡器交互。一个铲运车总体上行带宽需求 74Mbps 以上，时延要求小于 36ms。

规划：通过在铲运车作业的约 500 米长的巷道两端分别安装一个 5G RRU，即可满足 5G 远控铲运车的无缝作业覆盖。

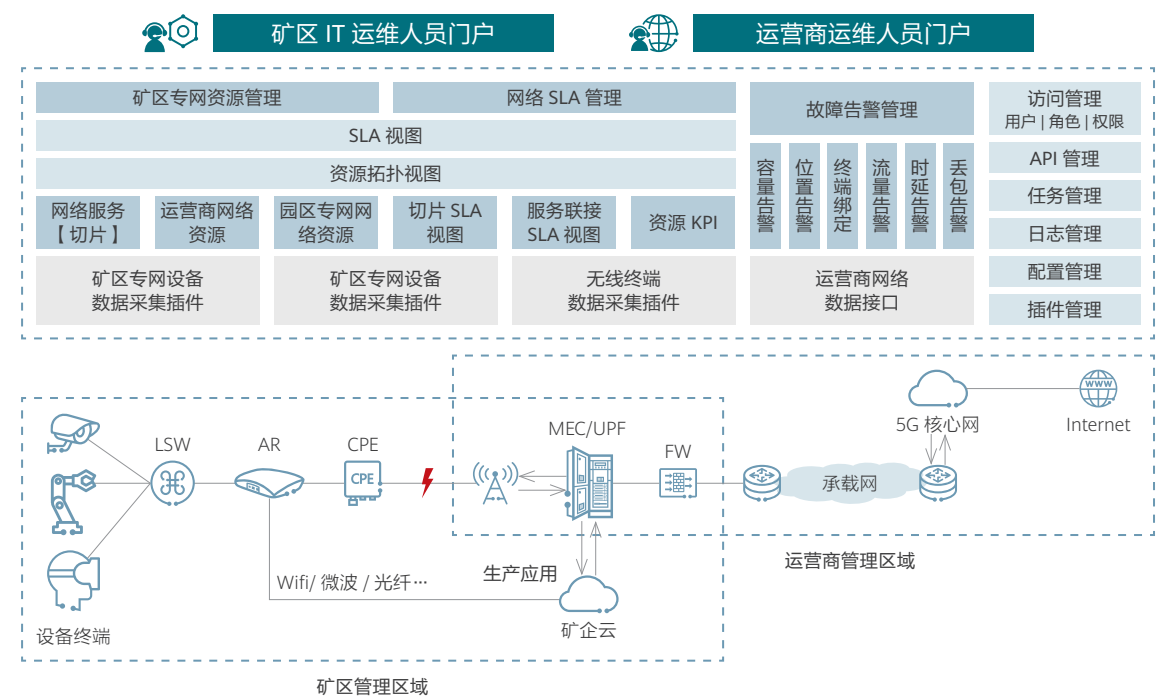
3.2.4 5G 专网实施集成与日常运维

5G 矿区专网将通过多个 5G 无线接入点为矿山园区的生产设备提供接入服务。运营商的 5G 基站设备，传输网设备，无线接入终端，敏捷路由器（AR），核心网网元 UPF，MEC 以及与之配套的园区网络管理系统，将会按规划部署在矿区，井下及开采作业面。

5G 专网实施：5G 专网在矿区的部署实施以运营商为主，矿区 IT 及工程部门为辅的方式进行。运营商负责 5G 专网的规划，设计，勘测，选址，施工。矿区 IT 及工程部门负责协助提供矿区 IT 有关信息，比如私有 IP 地址，VLAN，VPN 等；矿区工程部门负责电力，站点及相应的工程保障。在井下及特殊作业区域，尤其是对施工人员有资格认证要求的危险作业区域，建议考虑培训现有矿区工程人员，进行特殊区域施工作业。

5G 专网与矿区生产网集成：5G 专网与矿区生产网的总体集成规划由运营商负责，矿区侧的局部参数（如私有 IP 地址，VLAN，VPN 等）由矿区 IT 部门提供。运营商侧网络，CPE/ 路由器、5G 模组的配置均由运营商负责配置。运营商的集成方案将满足矿区对网络资源隔离、链路冗余、网络接入安全、企业数据不出园区等安全保障的要求。运营商支撑系统应用合作伙伴完成 5G 智能化应用的调测与集成。

5G 专网运维：5G 专网网络设备的日常维护由运营商负责。5G 专网与矿区的工业环网密切融合，当网络出现故障的时候，为了快速界定网络故障点、识别网络故障责任主体，运营商将向矿区 IT 部门提供轻量版的矿区 5G 专网管理平台，满足矿山企业对矿区专网可视、可管、可控，自维护的要求。矿区 5G 专网的维护管理平台的基本功能如下：



矿山业务联接 SLA 监控及状态呈现：平台将为矿山 IT 人员提供业务联接 SLA 的运行视图，在正常运行状态下，矿山 IT 人员可通过业务联接视图获得该业务联接的上下行带宽（最大、最小及平均值），数据往返延时（最大、最小及平均值）等 SLA 实时数据。当支撑该业务联接的网络切片或者底层网元，出现故障或性能告警时，矿山业务联接将同时呈现有关告警，并按业务领域分配的业务监控提供故障概览，包括连接数、中断连接数、质差连接数和正常连接数，超时事件、已超时事件和业务所属切片的概览。

设备状态采集：通过探针、拨测等技术手段，全面监控矿区内 5G 专网及 MEC 设备运营状态，以标准的数据格式，将设备状态实时汇集到平台数据库中。

通讯终端监控：对矿用 CPE 或内嵌 5G 模组的行业终端，提供运行状态可视。

故障告警管理：提供矿区网络故障监控，包括业务、切片、网络、终端的事件管理和基础故障及性能告警界定。

运维能力开放：提供故障及性能告警北向集成 API 接口。提供连接质量分析类的数据开放能力，包括矿区业务质量、终端质量统计、切片质量统计、切片告警等。

3.3 MEC（边缘云）

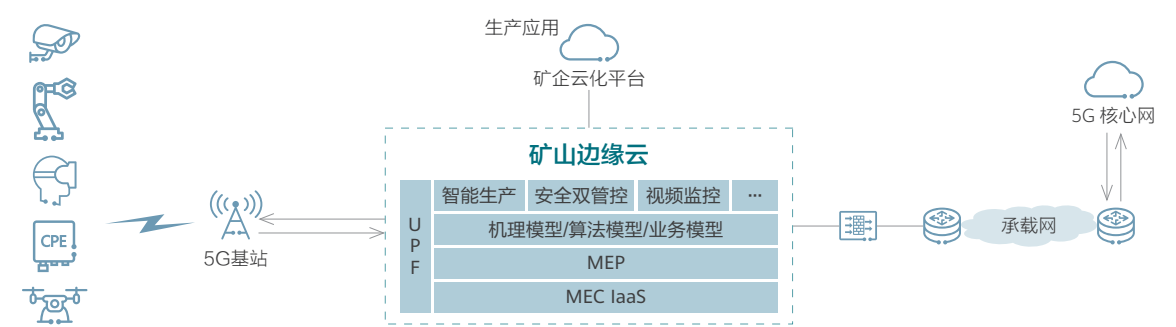


图 10 MEC 边缘云架构

MEC 边缘云，将云计算、大数据、视频 AI、GIS、融合通信等技术与有色矿山深度融合，形成全面感知、实时互联、分析决策、自主学习、动态预测、协同控制的智能化平台，在掘、采、运、选、尾、填的矿山流和生产、通风、经管的业务流中，实现多种智能化场景应用，提升有色矿的安全生产水平和生产效率。

实际部署中，需根据有色矿山规模大小和生产条件，以及矿的智能化建设难易程度，选择性建设边缘平台的不同组件。通过 MEC 部署，可在矿区提供本地化的 IT 服务环境和云计算能力，满足超低时延及数据不出园区等多种业务场景需求。

确定性联接：灵活动态业务分流，基于物 / 业务 / 位置的多维动态分流，满足矿山各种场景分流需求。数据流本地终结，确保矿区生产类数据不出园区。通过硬件层高优先级队列以及单次调度 1ms，实现确定性低时延转发。MEC 就近部署，确保矿区内网络 E2E 时延低于 20ms，使能无人铲运车等低时延应用。

增强型计算：初期矿区 MEC 可调用云平台计算及 AI 能力降低部署成本，之后可根据矿区场景的视频分析、大流量视频转发等需求灵活本地部署增强型硬件加强本地算力。

扩展能力：通过部署 MEC 应用管理平台（MEP），无缝迁移云平台应用到 MEC 上，云上算法的训练结果可实时更新同步至边缘 MEC。

极简运维：极简开站，站点上电可自动发现，即插即用，并自动下发配置，免人工干预。边缘端免维，运维可拉远，实现集中监控和控制。

4 平台化：数据载体

矿山企业当前生产与安全相关的系统普遍采用传统烟囱式构建，IT 硬件基础架构薄弱，应用系统之间数据不互通。服务器资源没有实现共享，使用率低，难以集中管理和使用，不能根据业务变化动态调整和扩展资源。部分服务器存在单点故障隐患，软硬件生命周期管理不规范，存在硬件断保、操作系统数据库等软件断代问题，可持续技术支持服务难，有随时应用宕机的风险。

4.1 云平台架构

采用云平台技术，借助云服务提供商专业的 IT 基础设施支撑服务，可以很好解决以上诸多痛点，让矿山企业聚焦核心业务，并利用先进的 IT 技术支撑矿山生产，实现信息化和工业化深度融合。

其中云平台是人工智能、云计算、大数据、工业互联网等信息技术的基础承载平台，同时能够为智能装备、视觉算法、视频 AI 等提供数据及应用系统的计算存储资源支持。作为工业数字底座和载体，使能上层工业应用，给矿山行业应用提供敏捷智能的通用引擎，主要包括：通用 IaaS、PaaS 使能 (AI、数据、技术)、集成使能、边云协同等。

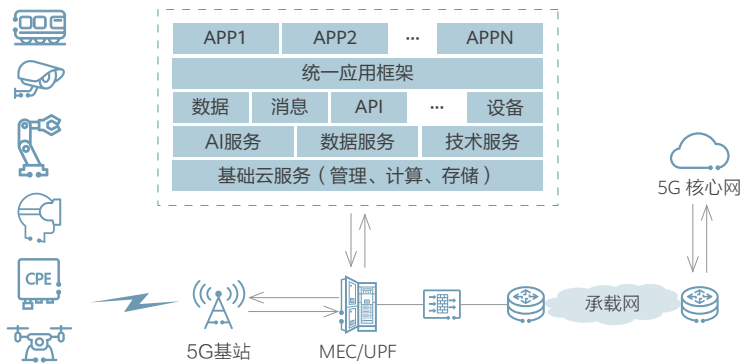


图 11 云平台总体架构

云平台在实际部署中，集团、矿业公司侧云平台与矿区侧 MEC 边缘云平台，可以实现边云协同。云平台负责全量数据存储、高计算量、时间周期较长的任务；边缘平台负责实时性强，不依赖集团可独立运行的任务。例如矿区地质勘查，将采集到的大量数据上传到云平台，云平台进行耗费大量资源、

消耗大量时间的地质建模、机器学习或任务训练，训练好的模型下发到矿井平台，矿侧边缘云平台可直接调用。

云平台提供统一运维，通过远程运维和本地运维相结合的方式确保平台的稳定。硬件更换及网络维护等基础维护工作由矿企 IT 人员负责。平台软件层面由云厂家协作来完成，企业 IT 人员主要是利用云平台的监控能力，针对用户数据库、用户操作系统以及云服务资源，对弹性云服务器、带宽等资源使用进行监控，全面了解云上资源使用状况和业务运行状况，有效预防问题发生，快速帮助应用运维人员定位故障，降低运维成本。云厂家提供平台的远程运维服务，保障客户业务稳定运行，助力企业从基础设施运维中解放出来，聚焦核心业务。

4.2 数据平台

基于云平台的通用服务能力，构建矿山自身的平台和应用，其中数据服务用于提供统一的数据库组件改善传统应用技术规范不统一的状况，为后续数据的标准化提供基础支撑，解决已上线孤立应用系统的数据汇聚问题；集成服务可用于烟囱应用系统对接、打通。数据平台服务可对矿上的办公及生产数据进行统一汇聚分析管理，形成企业数据资产库，为构建智能矿山和企业数字化转型提供数据支撑。汇聚后的数据可以根据实际业务场景，结合人工智能技术进行深度挖掘使用，为生产环节提效降本，因此，服务平台还应提供 AI 支持能力。应用平台则是根据企业员工的日常工作需要来提供面向各个业务场景的管理服务应用。



图 12 智能矿山数据平台

整个矿山数据平台将融合新型 ICT 能力（如：AI、大数据、物联网、视频云、GIS、融合通信等），封装成各类服务（如：AI 使能、集成使能、数据使能等），为业务应用提供共性平台能力支撑，将各类智能应用从平台重复建设和繁复对接中解脱出来，聚焦业务实现。

例如：通过矿山数字平台，采集矿区控制层及设备层的监测监控数据，接入来自生产运营系统等业务数据，构建矿区全局数据视图，提供实时数据计算分析能力，实现数据资源化管理。再通过 Portal、大屏显示、手机 APP 等多种呈现方式，实现各类业务应用交互，使能智能应用的建设，实现矿山全流程数据价值提升。

4.3 数据服务

数据服务模块主要包括：数据汇聚、数据存储、数据计算、数据治理、以及数据服务。通过这五个部分的能力为用户提供数据的采、存、管、算、用端到端能力，支撑矿山数据统一汇聚，持续提升数据质量。面向各业务应用统一提供数据支撑，深度挖掘数据价值，助力智能矿山建设。

数据服务	数据服务开发	数据服务接口	数据服务管理
数据治理	元数据	标准管理	数据质量
	数据质量	数据模型	
数据计算	离线计算	实时计算	流式计算
数据存储	Hadoop（MRS）	DW（DWS）	TSDB（CloudTable）
			RDB（RDB）
数据汇聚	批量 / 流式数据集成（CDM、DLF）	实时数据集成（DIS、DRS）	

图 13 数字服务模块

数据汇聚：包括批量数据集成和实时数据集成，可将各类业务系统的多种异构数据源通过专业工具抽取到数据存储层。

数据存储：包含 Hadoop、数据仓库、时序数据库、以及传统关系型数据库，支持结构化、半结构化、非结构化数据的存储。

数据计算：包含离线批处理、实时计算、流式计算，为大数据资源提供满足多种业务场景的计算引擎。

数据治理：包含标准管理、元数据、数据质量、数据建模等，实现数据标准化，持续提升数据质量。

数据分析：包含全文检索、数据探索、BI、和数据标签，围绕业务提供数据分析、挖掘的能力。多种数据分析算法组件，结合统计分析方法，可以满足企业多种数据分析应用需求。如，大数据分析、指挥大屏幕、企业报表统计分析等。

数据服务：包含数据服务开发、数据服务接口和数据服务管理。实现服务需求与设计、服务开发与实现、服务发布与消费的全流程统一管控。

4.4 集成服务

数据集成服务聚焦应用和数据连接，适配多种矿企常见的使用场景。提供服务集成、消息集成、数据集成等全联接，支撑跨“多云”应用、数据、服务、资源等的协同，以达到矿企内部互通、内外互通、多云互通。整合矿山各类子系统，打破数据孤岛，实现有色矿山综合管控。

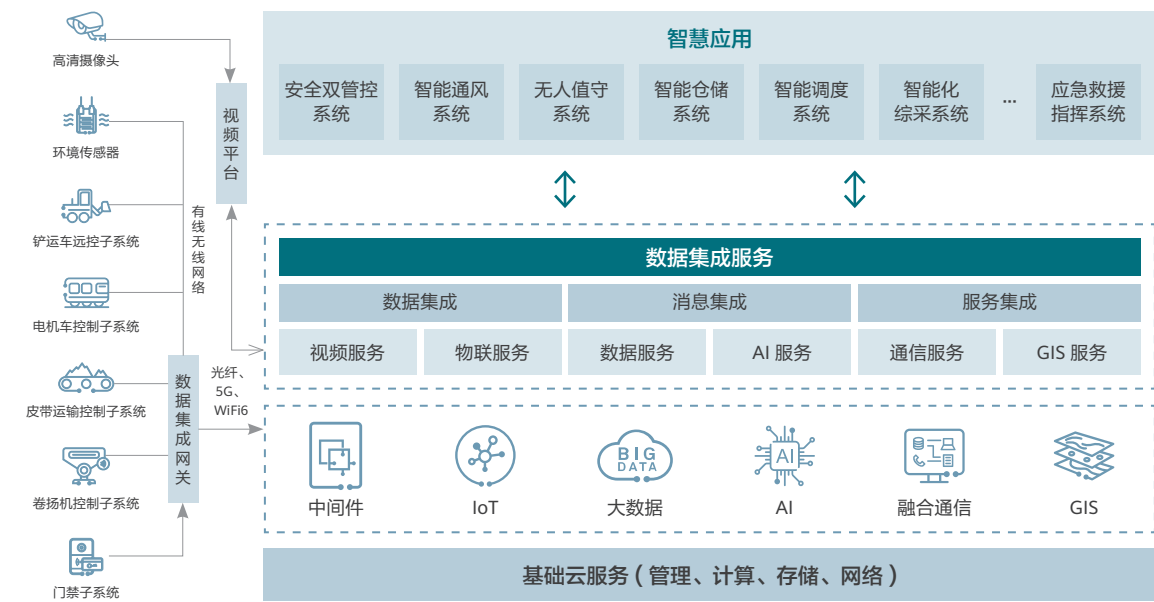


图 14 数据集成服务功能

数据集成服务将接入的边端侧数据，以及大数据、AI、融合通信、GIS 平台数据，进行标准化处理，提供统一的数据接口、消息接口和后端服务接口，从而实现以下功能。

应用使能：多系统通过 API 进行服务共享，沉淀共性能力，避免各业务重复建设。数据集成平台提供 API Connect 服务集成能力，将视频云、IOT、大数据、AI、融合通信、GIS 等组件的数据、后端服务以 API 形式开放，提供给安全双管控、无人值守等智能应用，简化分享数据或提供服务的过程，降低子系统间对接成本。

集成共享：提供多种工业协议支持结合工业网关的使用可以实现矿山多型装备数据采集。基于统一建设矿山数据湖为各应用提供数据服务，打破业务系统之间的数据孤岛。

矿山数据统一呈现：集团实时、按需获取矿山数据，为领导决策提供支持。数据集成平台将矿山的底层控制系统、矿卡、监测、数据监控系统中离散的数据进行有效地整合，与实际的生产过程中的计划数据等结合起来，为生产计划、调度、辅助决策等提供数据支撑，实现管理提升和价值创造。

有色矿山企业在平台化中，要充分考虑企业规模大小、生产条件、IT/OT 系统的实际情况，同时满足上级矿业公司、上上级能源集团的业务需求和智能矿山数据平台要求。通过矿山数据平台，打通掘、采、运、选、尾、填、销等矿山上下游各环节，全面连接集团、矿业公司和矿山生产企业。

在集团和矿业公司侧建设矿山数据平台，可实现下属矿的生产管理、安全监管、统一采购、统一销售和产运销调度，在平台上不断积累有色矿知识、调度优化、机理模型，并在下属有色矿上复用，快速推广最佳实践，提高生产经营效率。

在矿山侧搭建矿山数据平台，对有色矿安全生产的资源进行优化配置，积累有色矿生产知识、设备预测维护、安全态势、危害预警预测等机理模型，实现设备控制优化、管控一体化优化、生产经营全局优化，实现有色矿生产安全、高效、绿色、智能发展。



5 安全性：业务保障

矿山信息系统中，通过建设满足矿山智能化需求的安全技术体系与管理体系，提升矿山信息系统整体安全防护能力，识别和抵御安全威胁，化解各种安全风险，构建有色矿智能化发展的安全可信环境。

5.1 矿山安全总体要求

矿山安全体系建设主要考虑以下三种安全规范：

5G 多接入边缘计算平台通用安全防护要求

工信部主导起草的《5G 多接入边缘计算平台通用安全防护要求》，对 MEC 的建设过程和运营进行了规范和指导。包括物理环境、数据、设备、网络和应用等多个维度对安全的事前检测、事中预防、事后审计等有明确的要求。

等级保护要求

针对矿企用户，公安部等保有明确的安全要求，保护矿山用户的关键信息基础设施。

行业安全规范和要求

有色矿不同的主管部门，安全能力和安全规范也不一样，一个通用的安全能力和规范无法去满足所有的行业。针对通用行业当前的合规需求，按公安部等级保护进行建设是最基础的合规目标，在等级保护基本要求中分为安全通用要求和安全扩展要求。

5.1.1 安全通用要求

技术层面主要包括：安全物理环境需求、安全通信网络需求、安全区域边界需求、安全计算环境需求、安全管理中心需求五个层面，具体论述如下：

安全物理环境需求

安全物理安全主要针对环境安全防范与物理环境相关的威胁，保护系统、建筑以及相关的基础设施。

有色矿网络基础设施和 5G MEC 需要针对物理损害和物理访问风险都需实施较完善的物理安全控制措施，同时通过完善的管理及风险的有效控制考虑到如何避免由于自然灾害（洪水、地震等）及不可抗因素造成的业务中断、数据损失。

安全通信网络需求

按照标准，网络的安全考虑网络架构、通信传输、可信验证等三个方面。其中，网络架构方面，要保证有色矿山网络基础设施和 5G MEC 需要网络中设备的业务处理能力满足业务高峰期的需要，各个部分带宽要满足业务高峰期的需要。

安全区域边界需求

安全区域边界需求涉及：边界防护、访问控制、入侵防范、恶意代码和垃圾邮件防范、安全审计、可信验证等六个方面。其中边界访问控制包括：

- 有色矿山专网边界：有色矿山专线面向企业提供网络服务功能，系统边界包含企业侧、终端侧、5GC 信令侧和 O&M 侧边界。
- 5G MEC 边界：基于 5G MEC 为企业提供边缘应用，存在不同应用、不同信息客体的应用网络边界。

安全计算环境需求

应用系统是 5G 通用行业业务开展的重要组件。应用系统的关键资源是数据，而这些数据承载在网络设备、核心后台系统重要的操作系统及数据库系统。因此，网络设备、操作系统、数据库管理系统的等设备和计算本身安全性是至关重要的。

在有色矿山通用行业场景下的安全计算环境主要涉及 5G 终端的计算环境和 5G MEC 计算环境，其中 5G MEC 还包含网络基础设施和 5G 边缘应用。这里安全计算环境主要通过身份鉴别、访问控制、安全审计、入侵防范、恶意代码防范、可信验证、数据完整性、数据保密性、数据备份恢复、剩余信息保护、个人信息保护等 11 个方面来保证。利用软件能力成熟度评审、软件生命期内全程质量控制、病毒防范、行为审计等手段来保障其应用安全。

安全管理中心需求

“三分技术、七分管理”更加突出的是管理层面在安全体系中的重要性。通过技术手段提升管理措施，是保障安全技术手段发挥具体作用的最有效手段，建立健全安全管理体系技术平台不但是国家等保中的要求，也是作为一个安全体系来讲，不可或缺的重要组成部分。

5.1.2 安全扩展要求

等级保护 2.0 中除了通用要求外，还额外针对云计算、物联网、工业控制系统场景提出了安全扩展要求，采用云计算技术的选用云计算安全扩展要求，采用物联网选用物联网安全扩展要求，工业控制

系统选用工业控制系统安全扩展要求。

扩展要求方面也按照管理和技术层面进行划分，例如其中技术层面和通用安全相同包括：安全物理环境需求、安全通信网络需求、安全区域边界、安全计算环境需求、安全管理中心需求五个层面。

5.2 有色矿山安全方案

根据有色矿的典型安全诉求，及其业务场景分类和合规要求，需要从端到端总体安全框架出发，保障有色矿山业务安全。总体框架主要包括终端接入安全、数据安全、MEC 安全、边界安全和安全管理五大部分：

- 终端接入安全：提供 5G 终端接入的网络准入和访问控制能力，多重的接入控制能确保只有合法的终端才能接入企业 5G 网络。
- 数据安全：基于企业数据不离岸的原则，方案从组网和设计上保证企业数据的安全，并通过 E2E 加密等手段做到数据不泄露；
- MEC 安全：MEC 平台自身集基础设施安全，同时各接口都有相应的安全防护机制；
- 边界安全：确保 MEC 边界都做好隔离措施，运营商和企业的边界隔离。
- 安全管理：对整网的设备及系统的进行安全管理，比如用户登录审计管理，安全配置核查及时发现弱配置，网络安全态势感知等。

5.2.1 终端接入安全

终端安全接入方案

终端分为两大类，分别是 5G 终端（如 5G CPE、5G Dongle 和 5G 模组在摄像头等物联终端内）和其他非 5G 终端（如普通摄像头、PLC、电机车以及凿岩台车等可以通过连接 5G CPE 来接入 5G 网络）。对于非 5G 终端接入 5G CPE，主要是通过 5G CPE 上进行相关安全配置，取决于 5G CPE 具备相关能力。包括白名单认证、WIFI 鉴权加密、启用 CPE 防火墙等。

5G 终端企业自主认证接入企业内网

5G 终端企业自主认证方案将终端接入企业的控制权放在企业网络中，企业可灵活自主加以控制，企业可基于 IMSI 号对接入内网的终端进行控制。遵循 3GPP 规范，5GC 网络下 IAM(AAA) 和 SMF/UPF 实现对接，通过 SMF—IAM(AAA) 的能力完成企业自主鉴权流程。

5G 终端接入企业内网的多重控制

企业可基于多种因素对接入内网的 5G 终端进行控制，当前可控制的因素包括设备识别码 IMEI、接入位置。

1) 机卡绑定控制

企业用户开户时设置用户绑定 IMSI 和 IMEI，IMSI 做为用户名唯一标识，IMEI 做为设备唯一标识进行绑定，用户接入时 IAM(AAA) 通过校验用户 IMSI + IMEI 标识，合法用户校验通过予以接入，反之失败则拒绝接入。

2) 电子围栏控制

电子围栏方案基于 SMF-IAM(AAA) 间企业自主鉴权机制进行，用户位置使用 ULI, 用户在企业园区内移动时，SMF 基于位置改变触发 POD 与 IAM(AAA) 进行实时接入鉴权，SMF 根据 IAM(AAA) 的鉴权结果来决定是否准许用户的移动行为，IAM(AAA) 基于 ULI 地址池管理 ,ULI 地址池为有效区域，越区拒绝。

5G 终端精细化业务控制

企业开放的 APP 对应不同的终端，从安全性考虑需要设定不同的访问控制策略。而 5G 场景下企业终端的 IP 地址考虑，相当比例由运营商动态分配的，无法从 IP 看出是哪个终端，这就给以 IP 地址为基础的访问控制设备带来挑战。

5G 终端精细化业务控制是在 MEC 边界部署接入防火墙，通过 IAM（AAA）系统从核心网同步终端 IP 信息，实现基于终端角色的精细化访问控制 (IMSI)，从而减少企业应用暴露面。（注：只适用于终端地址在运营商未做转换）。

5.2.2 数据安全

企业数据安全主要两方面诉求：1）、企业数据不出园；2）、数据端到端加密。

企业数据不出园

UPF 下沉到企业园区，通过 SMF 下发的分流策略，实现基于 DNN（数据网络名称）本地分流，防止业务数据出园。同时，通过三面隔离，防止用户面数据通过管理面和信令面出园。同时针对数据出园的风险可通过防火墙实现访问控制，实现数据出园的控制；通过日志审计实现事后追查和审计。

企业数据端到端加密

为防止企业数据泄露，可以从网络和应用两个层面实现端到端加密。

应用层加密，主要靠企业应用的支持。网络层加密，可由运营商和企业共同提供，可以根据实际项目需要进行选择，包括：

a) 其他非 5G 终端连接 CPE 设备，依赖 CPE 的加密功能。

b) 5G 终端到 MEC 防火墙的 IPSEC 加密（备注：5G 终端要具备 IPSEC 能力）。

c) 5G 终端通过空口传输的数据，通过 3GPP 空口信令面和 UP 面加密完保实现安全。

d) 基站 -MEC/UPF 之间的业务数据传输通过 GTP-U 隧道，属于运营商机房内的可信网络，一般可将该段路径为内部可信网络，可以不需要加密，如果需要，则可以采用 BBU 到 MEC 之间的 IPSec 加密方案。

e）MEC/UPF- 企业内网之间的业务数据：可以采用 IPSec 加密保护，以 MEC/UPF 侧的防火墙（或者路由器）作为起点，终结在企业内网网关（防火墙或者路由器），IPsec 密钥可以由企业掌握。

5.2.3 MEC 安全

对于 MEC 承载有色应用的场景，5G MEC 上承载的是有色用户的应用和数据，安全直接影响有色用户能否正常进行生产和经营活动。5G MEC 平台的应用系统在向外提供业务的时候，也有可能遭受来自内部或外部的安全威胁，如非法访问、SQL 注入，病毒攻击等。同时业务系统需要考虑避免因负载过高或主机单点故障带来的业务中断。针对这种情况，需考虑如下安全设计：

MEC 内部网络分区

因为企业 APP 的引入，针对 MEC 内部的网络，基于运营商、企业应用两个管理界面进行网络分区分域。基站和 MEC 间部署防火墙，做网络隔离，防外网攻击，基于 UE IP 保护，防恶意报文；建议在需要 IPsec、采用微波等无线回传、基站共享等场景下可部署防火墙。5GC、NMS 和 MEC 间部署防火墙，可启用 IPsec 保护，防止外网攻击、信令或网管指令被非法篡改；可启用智能分析特性，以判断 MEC 节点业务数据出园事件；传输层可启用 TLS/DTLS；APP 边界防护，部署防火墙，结合M EC 云平台安全能力 VPC/VLAN，防护 APP，防止不同 APP 之间的横向攻击；

UPF 网元安全

UPF 网元作为网络基础设施，承载用户数据通信，需要基于网元自身角度进行安全加固防护，具体措施包含：

- 通过网元启动运行自证明、自防御能力，构建内生主动安全防御能力；
- 通过软件层面漏洞防利用和入侵检测在减少攻击面的同时，主动发现安全威胁；
- 通过 UPF 网元上报和管理系统监控，协同实现安全自防御。

网元安全加固

按照安全规范要求进行安全加固，主要的加固内容包括网元配置加固、网络设备加固和边界网关设备加固等。

MEC APP 访问控制安全

通过防火墙、网络设备和虚拟机访问控制服务等，根据会话状态信息为数据流提供明确的允许 / 拒绝访问的能力；控制粒度为端口级；同时系统具备对进出网络的信息内容进行过滤；实现对应用层 HTTP、FTP、TELNET、SMTP、POP3 等协议的命令级的控制；并在会话处于非活跃一定时间或会话结束后自动终止网络连接，充分确保系统非实时在线层面的安全保护功能；支持基于 IP/IP 段、用户 / 用户组、资产 / 资产组、协议、时间、危险级别等组合策略进行访问控制，对于匹配规则的行为予以阻断或放行；支持基于用户组织架构进行资产、审计日志的完全隔离。

MEC APP 安全

有色矿山用户安全是 5G MEC 安全区别于传统数据中心安全业务部署与管理的关键需求，涉及 5G MEC 有色矿用户业务系统的安全运行防护、有色矿用户间安全隔离、地址重叠（VPC）、有色矿用户内业务系统间安全隔离、有色矿用户业务系统内不同组件间安全访问控制等多个方面。为应对 5G MEC 有色矿用户安全需求，MEC 安全运营使能平台应提供丰富的安全组件，让有色矿用户可以从 5G MEC 平台获得一站式安全服务功能。

身份鉴别

MEC 中各项网络基础设施和企业应用登录均须身份验证。过于简单的标识符和口令容易被穷举破解。同时非法用户可以通过网络进行窃听，从而获得管理员权限，可以对任何资源非法访问及越权操作。因此须提高用户名 / 口令的复杂度，且防止被窃听；同时应考虑失败处理机制。应用登录应采用口令、密码技术、生物技术等两种或两种以上组合的鉴别技术来进行身份鉴别，且其中一种鉴别技术至少应使用动态口令、密码技术或生物技术来实现。

安全审计

针对 5G MEC 用户使用网络进行无关操作影响网络效率，以及使用主机搭建无关服务、滥用应用、通过网络传递敏感信息等不当行为，需要建设相关技术能力对网络资源使用情况及网络行为内容进行还原和记录，以备审计。在应用层设置审计机制，由安全管理中心集中管理，并对确认的违规行为及时报警。

5.2.4 边界安全

针对有色矿山网络边界的安全防护，需要重点考虑 UPF 与外部通信组网架构安全，网络攻击防范和

安全审计等方面的边界安全防护能力，本章节基于等级保护等安全规范中对安全区域边界的定义，从边界结构安全、边界防护、访问控制、入侵防范、边界完整性检查、恶意代码防范、网络审计要求分别进行阐述。

边界结构安全

针对承载 UPF 的电信云平台，在各业务 UPF 之间通过 VRF、VLAN/VXLAN、VPC 等方式实现虚拟网络资源之间的隔离，并在交换机 / 虚拟交换机上通过配置配额 QoS 避免网络资源过量占用。对于保证信令管理流量与用户业务流量分离措施方面，5G 核心网的网络平面划分为业务平面、信令平面和管理平面，各个平面间通过 VRF、VLAN/VXLAN 方式网络隔离，三平面网络默认互不相通。

通过在核心网电信云中部署网管系统以及网管模块能够识别、监控 VNF 和物理宿主机之间的网络流量。

针对使用运营商边缘计算（MEC）承载有色矿业务 APP 的场景，需要在 5G MEC 的各个接口建设针对性安全边界防护机制，通过 VPN 接入、接入认证管理系统、移动安全管理系统和防火墙系统，对接入用户提供远程接入和数据加密传输功能，防止数据篡改和数据窃听等风险。针对 MEC 与安全服务区间部署防火墙：隔离边缘计算网络与有色矿企业内网；通过 MEC 平台安全能力 VPC，隔离不同业务 APP。

访问控制

UPF 面向有色矿业务的边界处部署防火墙做逻辑隔离；例如，防火墙。能根据会话状态信息为数据流提供明确的允许 / 拒绝访问的能力；控制粒度为端口级；同时系统具备对进出网络的信息内容进行过滤；并在会话处于非活跃一定时间或会话结束后自动终止网络连接，充分确保系统非实时在线层面的安全保护功能。

针对核心网用户面网元(UPF)间的网络访问控制,需要为业务 UPF 提供虚拟防火墙进行访问控制隔离。

入侵防范

针对关键位置的入侵防范机制，具体根据防护目标不同可以细分为如下几类：

1) 边界防火墙

在电信云内部核心交换处旁路部署核心防火墙，通过为 VNF 和业务区域建立 vFW，实现不同业务网元之间访问控制策略控制。同时提供防 ARP 欺骗、畸形报文攻击防护等功能。基于业务需求，通过防火墙对部分业务网元提供 NAT 转换，实现内外部流量隔离，提升电信云内部网络边界防护水平。

2) 入侵检测系统（IDS）

5G MEC 的各边界位置，通过部署分光和汇聚分流设备，对网络边界流量进行深度检测。IDS 针对应用流量做深度分析与检测规则设置，配合攻击特征库和用户规则，检测隐藏在海量网络流量中的病毒、

攻击与滥用行为，从而达到对网络应用层的保护。

3) 恶意代码防范

针对 5G MEC 中的运维（OM）平面边界，部署防病毒网关（双机高可用模式），在管理面提供病毒防护能力。防病毒网关设备通过对 http、ftp、telnet 等常见应用协议进行病毒的检测和清除，在网关处有效限制病毒随运营系统访问、远程运维等途径进入到 5G 核心网用户面，同时能防止病毒在用户面内横向传播扩散。

4) 网络安全审计

运营商对网络边界位置的安全防护设备（防火墙、IDS、防病毒网关等）进行安全事件集中管理和审计，实现网络基础设施网络安全审计目的。针对使用运营商边缘计算（MEC）承载有色矿业务 APP 的场景，还需要在 5G MEC 的 MEP 出口上部署分光和汇聚设备，对进出 MEC APP 出站流量进行网络流量审计，对网络内部的 http、smtp、pop3、rdp、ftp、nfs、数据库等多种常见应用协议的流量进行识别及行为审计记录，及时发现安全隐患，协助优化网络资源的使用。

5.2.5 安全管理

为了确保最佳 ROI，同时满足安全合规要求，经过调研分析建议采用中心节点结合边缘节点部署方案，中心节点的日志审计、态势感知和 4A（堡垒机）等安全管理组件共享给所有 MEC 复用，MEC 仅部署需要近端使用或合规要求必须的安全组件。

系统管理

5G MEC 运维还对平台系统的整体运行状况进行有效监控，需及时发现潜在问题，为了保障系统正常运转，提高服务和维护水平，特别是要管理分布式的网络、系统环境，需要基于 5GC、5G MEC 的网络管理平台，为 MEC 网元提供策略集中统一管理和监测，实现如下能力：

- 监测管理自动化，故障处理变被动为主动，主动发现系统问题，在最短的时间内实现故障报警，管理人员可以快速采取解决措施。
- 完善的性能分析报告，更能帮助系统管理人员及时预测、发现性能瓶颈，提高系统的整体性能。
- 帮助管理者制定并执行良好的实施、管理和分析策略，使系统运维管理水平上升到新的高度。

审计管理

通过部署日志审计系统对分布在系统各个组成部分的安全审计机制进行集中管理，包括：根据安全审计策略对审计记录进行分类；提供按时间段开启和关闭相应类型的安全审计机制；对各类审计记录进行存储、管理和查询等；对安全审计员进行严格的身份鉴别，并只允许其通过特定命令或界面进行安全审计操作。

安全运维

为实现对整网设备及系统的安全管理，需规划安全运维管理区，统一各地 MEC 节点进行安全管理。在管理区部署运维堡垒机、安全配置核查、安全态势感知等安全管理系统：

1) 运维堡垒机

运营商需针对 MEC 网络设施运维建立集中访问控制机制，进行身份认证和授权操作，同时对操作行为进行审计，记录用户操作行，避免由于运维人员操作不规范、权限滥用及误操作等，导致生产系统受到影响。在对故障进行精确定位和故障恢复时提供支撑。

在运维管理区部署运维堡垒机，实现对 MEC 网元、服务器、网络设备、安全设备、存储等资源的帐号、认证、授权和审计的集中控制和管理。系统提供运维权限管理，完善的日志审计功能，支持对图形终端、字符终端、数据库应用、文件传输等。提供实时视频监控录屏，对高危的操作（删除或重启等）可以实时的截断。通过部署堡垒机来实现运维日志审计功能。

考虑到堡垒机的重要性，建议堡垒机配合双因素认证或 4A 系统部署，通过高强度账户密码认证体系保证运维人员账号的安全性。

2) 安全配置核查系统

针对网络基础设施中部署的服务器、存储设备、网络设备、安全设备，需要定期核查其配置文件中有可能存在弱口令、后门、危险端口等安全威胁。安全配置核查系统帮助运营商对网络基础设施的安全配置文件进行自动化的检查，及时发现其中的安全威胁，并及时告知用户进行修正。

3) 安全态势感知

5G MEC 中包含了大量的基础设施安全、有色矿山业务安全技术措施，但仍然缺少统一的监控、管理平台。导致安全产品彼此独立数据信息互无关联，给管理人员带来极大的管理负担，而且造成监控管理效率低下，不能联合发挥安全保障作用。

针对以上现状，需要构建面向 MEC 场景的态势感知系统，通过整合和集中管理现有安全资源，通过关联分析、智能响应等组合，实现安全预警、防护、响应的闭环管理。同时帮助运营商和矿山企业及时准确了解业务系统安全态势。

6

智能化：应用场景

矿山智能化场景是采用5G、AI、云计算、IoT、大数据、GIS、AR/VR、无人机、自动控制、计算机软件、高端装备制造等高新技术，应用于矿山生产各个作业环节，实现矿山全流程、全生命周期的数字化与智能化，是工业化与信息化的有机结合和新的发展阶段，其终极目标是实现“无人矿山”。在具体的应用中，以“矿石流”为经线，从“掘-采-运-选-尾-填”环节中，选择五大专业场景，做深度融合，实现少人化、无人化场景落地；以“业务流”为纬线，从“通风-生产-辅助AR/VR-监控-超远距控制”五大水平场景，做端到端结合，实现能耗节省、效率提升、精益化管理、安全管控等全面提升。

✔ 指智能化场景所涉及的重点环节

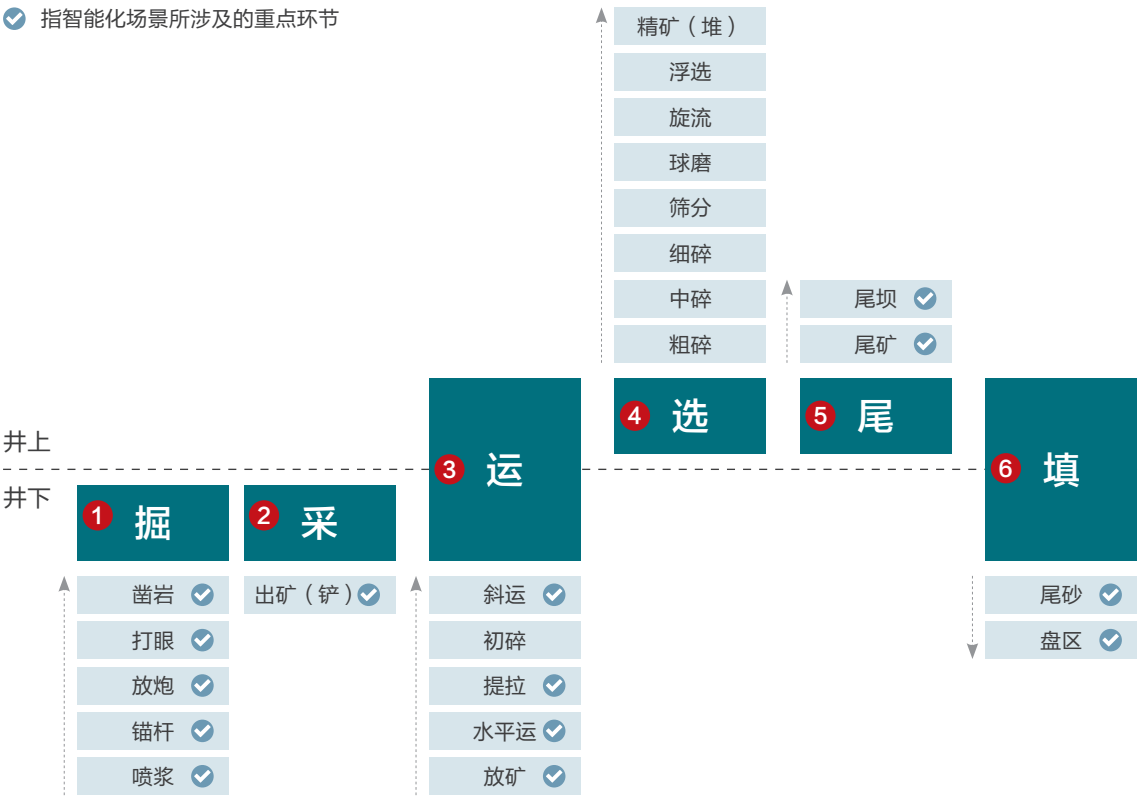


图 15 矿山场景全流程

子环节		场景	新技术
矿石流	掘	智能掘进	5G 大上行回传、视频 AI 分析、可移动基站、低时延远控、多功能智能台车
	打眼		
	放炮		
	锚杆		
	喷浆		
	采	出矿（铲）	智能调度
	运	放矿	
		水平运输	智能运输
		提拉	智能转运
		初碎	-
		斜运	智能转运
	选	粗碎 / 中碎 / 细碎	-
		筛分 / 球磨 / 旋流 / 浮选	-
		精矿（堆）	-
水平贯穿	尾	尾矿	智能充填
		尾坝	
	填	尾砂	
		盘区	
	超远距离控制		5G 专网、超远专线、智能驾驶舱
	智能通风		智能检测、智能控制、三维可视
	智能生产		iMES、矿山工业数据共享平台、OT 与 IT 一体化运营、5G 全联接、智能决策
	智能辅助 AR/VR		AR/VR、5G 高清视频回传、可预测性维护、远程协作
	智能监控		5G 高清视频回传、智能模型训练、AI 开放平台

6.1 智能掘进

在地下矿山采掘作业循环中，爆破前确定布孔的位置、方向及深度，进行钻孔；爆破后需要对现场喷水清理粉尘、排除盲炮隐患、清除顶板和侧帮浮石，目前均需人工现场操作。

场景需求：基于本质安全考虑，在危险作业场景的现场需要基于 5G 技术、视频回传、视频结构化分析、IoT 及远程控制等技术的综合利用，满足不同种类作业车辆的操作逐步实现从视距内作业到远程作业再到无人化作业的迭代升级，以期提升本质安全能力和劳动生产效率，减少井下现场作业人员数量，和伤亡事故发生。



图 16 传统掘进场景

方案：在掘进巷道可通过井下可移动无线基站覆盖技术快速进行临时性的 5G 网络覆盖，通过矿山工业环网回传与井上集控中心互联互通，并通过对现场机械设备基于 5G 高清视频回传、超低时延控制以及人工智能等新技术为基础的智能化改造，实现装备的远程化甚至无人智能化作业。例如智能识别爆破前凿岩台车布孔位置，以及爆破后盲炮位置、洒水区域、撬毛对象等，先期远程控制、后期智能化控制进行穿孔、洒水、排除盲炮、浮石处理等，减少掘进现场对人员作业的依赖。

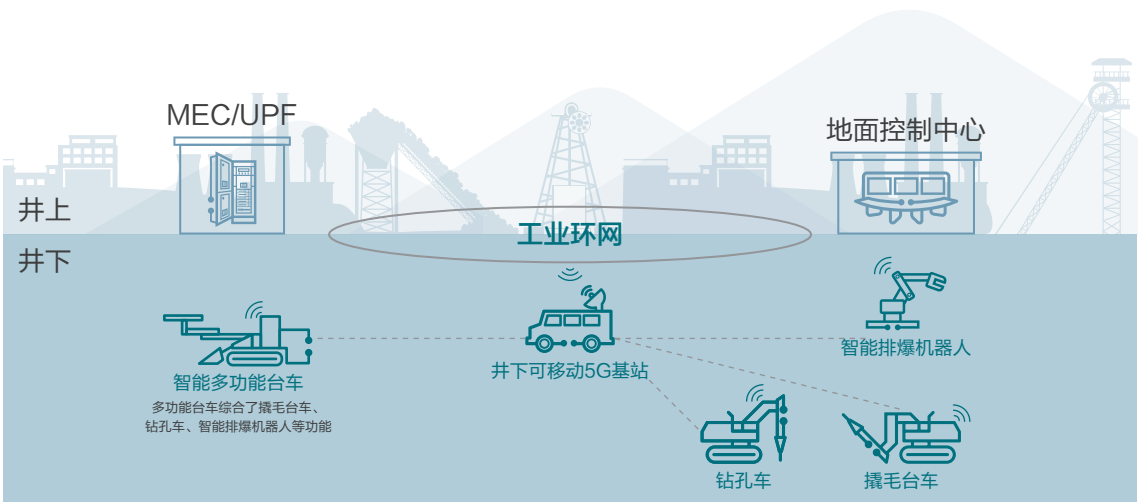


图 17 智能掘进场景

现场装备改造：通过机器视觉 + 精准定位，进行智能化布孔位置锚定及远程凿岩设备操控作业。远程操控矿井喷水车或喷水机器人进行爆后喷水除尘作业。通过远程操控机器人携带的机器视觉 + 云端 AI 智能分析识别盲炮隐患并进行远程操控排除。通过机器视觉 +AI 对现场爆破后的浮石情况进行智能识别，撬毛现场实况数据采集、实时传送、AI 识别并进行撬毛作业的远程操作、智能化作业。

网络覆盖：可移动 5G 基站结合井下工业环网接入并回传的方案，使能各类智能化现场掘进设备与云端操控平台的互联互通。

云端控制中心：在井上操控式即可获得近似现场的视野，并设计操控台对井下设备进行远程操控，未来边缘云上提供作业调度和重复性作业任务模型实现部分作业场景的无人化。

6.2 智能调度

矿山一般是采用铲运车 + 溜井 + 有轨电机车运输法，采场面临安全管理、防洪压力、矿石与废石调度运输，以及如何保证溜井供矿质量的挑战。长期以来，一直采用的固定配车、人工调度、对讲喊话、人工收集录入数据等方式，导致调度指挥的安全性、准确性与实时性难以有效保障，造成现场生产管理人员和设备效率不高、存在安全风险、生产成本较高，直接影响矿山的经济效益和综合效益。

场景需求：调度人员能够通过智能调度系统，动态调度并监控现场所有铲装、运输设备作业。通过数字采矿和生产执行系统，根据选厂当天处理的矿量、品位，自动进行采装运选填各环节的作业计划排产，根据现场爆堆实际，调度指挥铲运车进行铲装运作业。然后通过溜井的料位监测，确定最优卸矿溜井进行卸矿。在机车运输环节通过机车的无人驾驶系统与放矿机控制系统的连锁实现电机车运输的智能化。

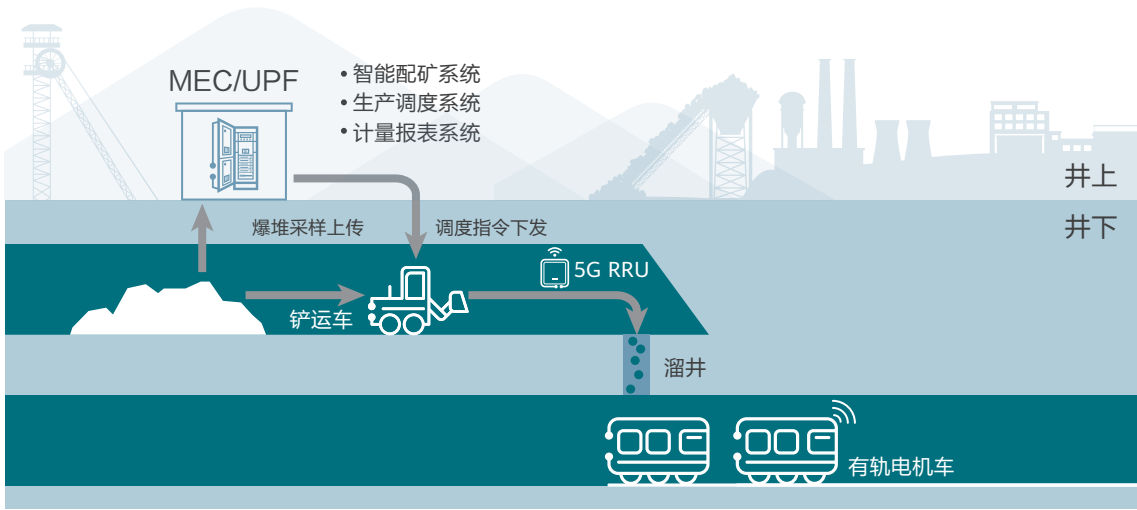


图 18 智能调度场景

方案：智能调度系统基于 5G+ 边缘云，将采集的爆堆数据上传到云平台上，结合定位系统，经过智能配矿、最佳路径等算法，将调度指令下发到铲运车及其他运输车，达到智能调度的目的。具体技术方案包括：

车辆实时定位功能：通过精准定位系统，对已安装卡调终端设备的车辆和挖机，进行实时定位、历史回放、运行轨迹查询、速度显示、超速定位及报警、离线定位及报警功能，可以有效减少人为管理盲区，提高现场作业的透明度；

车辆防碰撞功能：车辆行驶过程中要对前方障碍物进行识别并采取制动措施，防止发生伤人、翻车和追尾事故。实现避障最直接有效的方法是对前方物体测距，一旦距离小于警戒距离立即减速或刹车。测距是一种成熟的传感技术，常用的有超声波测距法、红外测距法和激光雷达测距法。

智能配矿系统：利用现场岩粉取样数据，通过实时上传云上，建立了采场爆堆数据库，将不同爆堆数据按照标准格式传入调度系统，调度系统综合各爆堆数据、溜井矿量、品位、运距等约束条件，在采场现有爆堆中计算出配矿计划及建议设备配备，形成铲运作业计划表，经审核后实现生产指令的一键下发。

自动计量报表系统：系统自动根据车辆的装载信息、定位信息、溜井料位、电机车运输信息、放矿机、提升机信息、磨机上料胶带计量信息等相关判断条件，实现产量的自动循环统计。自动计量及报表系统，是调度系统的核心数据来源，为后期的采矿、剥离成本的实时结算、资源有效控制、运矿距离测算、提供了关键数据来源。

生产调度系统：采用高清视频监控、精准定位、数据采集等技术实现实时、动态的监控现场所有铲装、运输设备作业状态，进行生产作业指令的智能调度和下发，改变了以往通过电话、对讲机等人工调度方式存在的调度指令滞后、错位等现象。

6.3 智能运输

国内矿山井下有轨电机车运输系统大部分需要现场岗位人员与驾驶员配合操作。每台电机车需配电机车司机和放矿工，通过相互配合才能完成电机车的对车、装矿、行车、放矿过程。造成装矿效率低下、装载异常等问题，且存在很大的安全隐患。

场景需求：以 5G、WiFi、光纤多种通信技术为基础，实现井下运输自动控制、远程遥控控制和人工驾驶三种模式切换的无人驾驶系统，可适应不同条件下生产系统的连续运行，大幅提高了矿山运输效率，有效提升了本质安全水平，具有较好的推广运用价值。无人机车车厢精准定位后，远程自动放矿系统开启放矿模式，机车车厢矿石物料高度及视觉 AI 系统可控制每节车厢的放矿数量，可以实现电机车与井下自动放矿物料装载、运卸全过程的无人化作业。

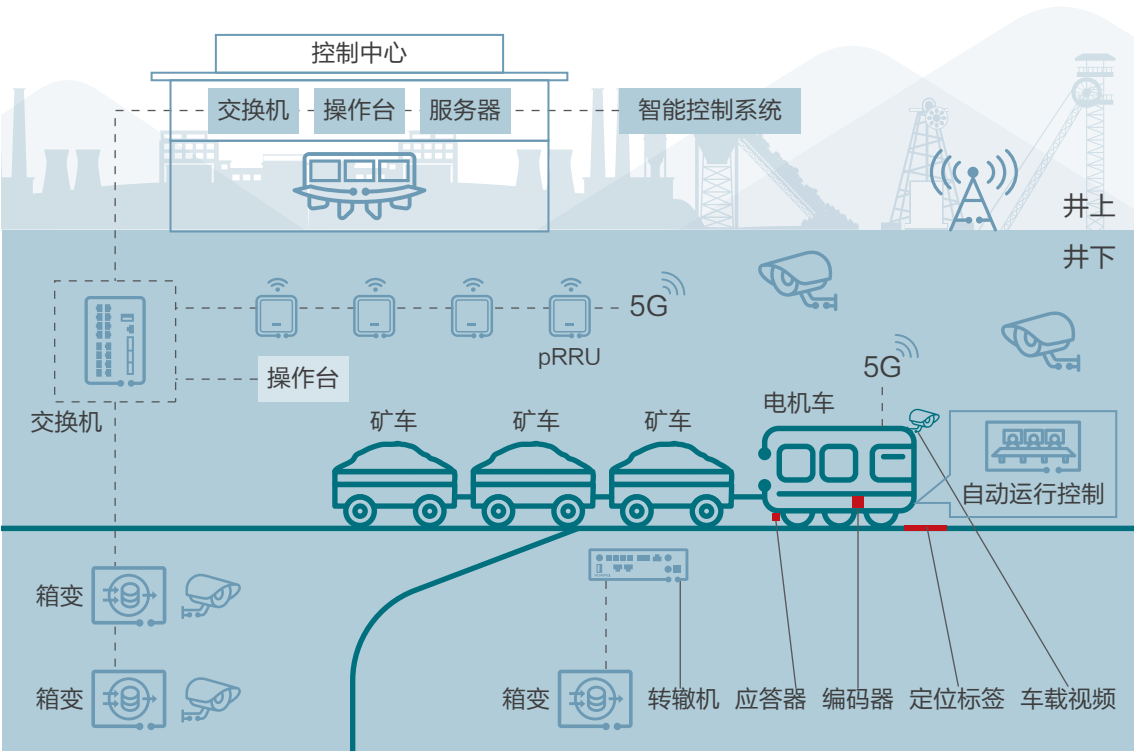


图 19 电机车无人驾驶场景

方案：矿用电机车 5G 无人驾驶改造方案，以高速 5G 无线通信及工业环网为传输平台，以矿用轨道运输监控系统为安全依托，采用井下机车精确定位技术、图像识别处理技术和机车安全运调技术，并结合矿井安全生产运输综合监控系统。具体技术方案包括：

电机车自动控制改造：实现电机车自动运行，需要对机车的电气回路、机械回路、自动化系统与电气回路的连接进行改造测试，并安装车载控制系统（5G 无线通讯设备、协议 转换设备、测速装置、障碍物检测装置、精确定位设备、机车视频等），并进行牵引系统与机车本体控制融合调试，方可实现电机车的远程自动控制。

精准定位系统：机车通过 UWB 精准定位系统，并结合 5G 定位等，将无人机车的每节车厢定位至自动放矿口下方。

溜井远程遥控装矿系统：远程操作台部分、装矿站现场控制部分、溜井视频监控部分。远程操作台安装于地表控制中心，每套遥控操作台设置一套操作装置，实现远程手动遥控装矿。无人机车车厢精准定位后，远程自动放矿系统开启放矿模式，机车车厢矿石物料高度及视觉 AI 系统可控制每节车厢的放矿数量，实现与放矿机的连锁，使无人机车运输系统与远程放矿系统高度兼容统一。

视频监控系统：基于 5G 的高清视频回传能够清晰地传递井下机车行驶情况，保障行驶安全。

6.4 智能转运

6.4.1 提升机漏料清理：

在使用提升机运输矿石的作业过程中，会有粉尘掉落到卷扬机的台面，漏料清理工作需卷扬机停机后进行人工清理，且存在重大人身安全风险。需采用视觉识别判断清理时间，协同自动提升系统和清扫系统，适时启动清扫，避免了人工进行清扫作业带来的安全风险，有效阻止了灰尘飘散，降低劳动强度，改善工作环境。各系统联动实现精细化操作，提高矿石提升效率。

方案：通过 5G 高清视频回传、人工智能的视觉算法以及全自动的清扫机械系统等新技术，识别卷扬机台面的漏料堆积情况，机器视觉判定达到设定阈值后下发清理指令，系统可自动分析有关数据并提供趋势曲线、报警信息、运行时间等信息，实现清扫及提升等各系统之间数据共享与控制联动，自动化和可视化融合，最大限度地发挥智能化效益。作业全程不需要人工参与，避免人工作业的风险，也提高了矿石提升效率。

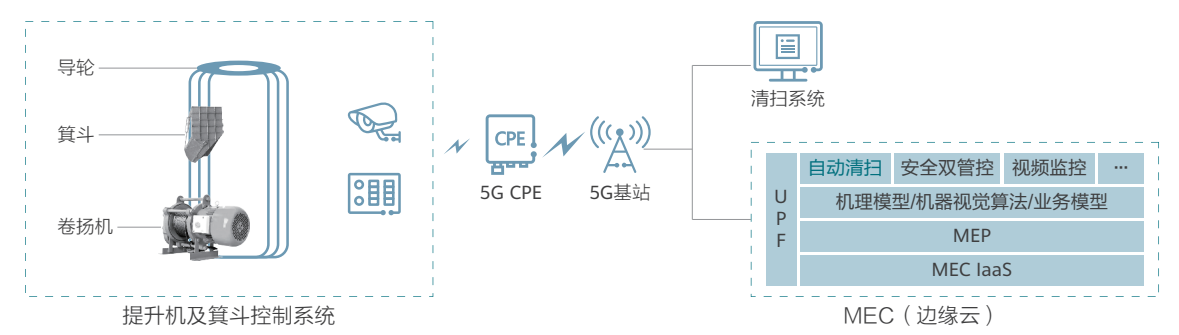


图 20 智能漏料清理场景

6.4.2 胶带在线监测：

井下胶带主要部署在有色矿的转运系统中，负责把初碎后的矿石头输送到井上；也有一部分胶带部署在矿石出地面后的运输及选矿供料，以及精矿尾矿压滤后的出口处。防止胶带跑偏等检测需求是胶带系统中各个环节维护人员重点关注问题。

胶带跑偏造成胶带边缘脱线，引起托辊缠毛，长期不处理，会造成托辊不转，加大了检修维护人员工作量与托辊的投入；将矿碎石抛洒到底胶带上，运回机尾，会造成机尾大量矿碎石堆积，增加了机尾看护工清理矿石的劳动强度；大量矿碎石抛洒在巷道里，影响胶带巷的清洁，通风和行人；胶带占整台输送机成本 30%-50%，胶带边缘磨损与撕裂，会造成重大经济损失；人员靠近胶带，会引发生产事故，并对人员生命造成危害；胶带上出现非运输矿石料，对后续工序造成干扰；在有色矿中，计量很重要，是进行有效生产管理的前提，目前井下计量方式落后，无法做到精准计量。

方案：在边缘云中部署胶带实时检测防护系统应用，胶带实时监测防护系统整体采用视频监控探头、温度传感器和嵌入式计算机技术，通过 5G 传输网络实现实时采集胶带设备启停控制工作电流、电压显示、胶带速度的检测和显示。

系统可根据采集的设备电机温度、运行频率、风机状态等数据，通过相应算法实现胶带故障自诊断，实现井下掘进顺槽胶带、工作面顺槽胶带以及主运输胶带等的保护，控制、沿线通话、故障检测、显示及报警等功能。实现胶带跑偏识别，堆料识别，胶带掉料识别，撕裂识别，人员违章识别，异物识别与料量识别等场景。

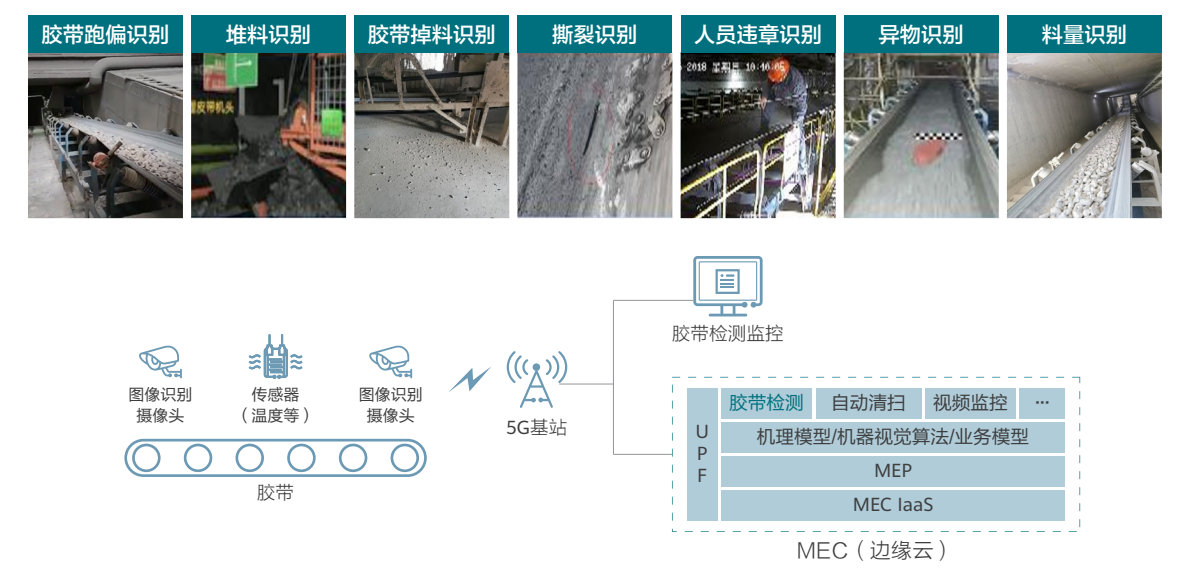


图 21 胶带在线监测场景



6.5 智能充填

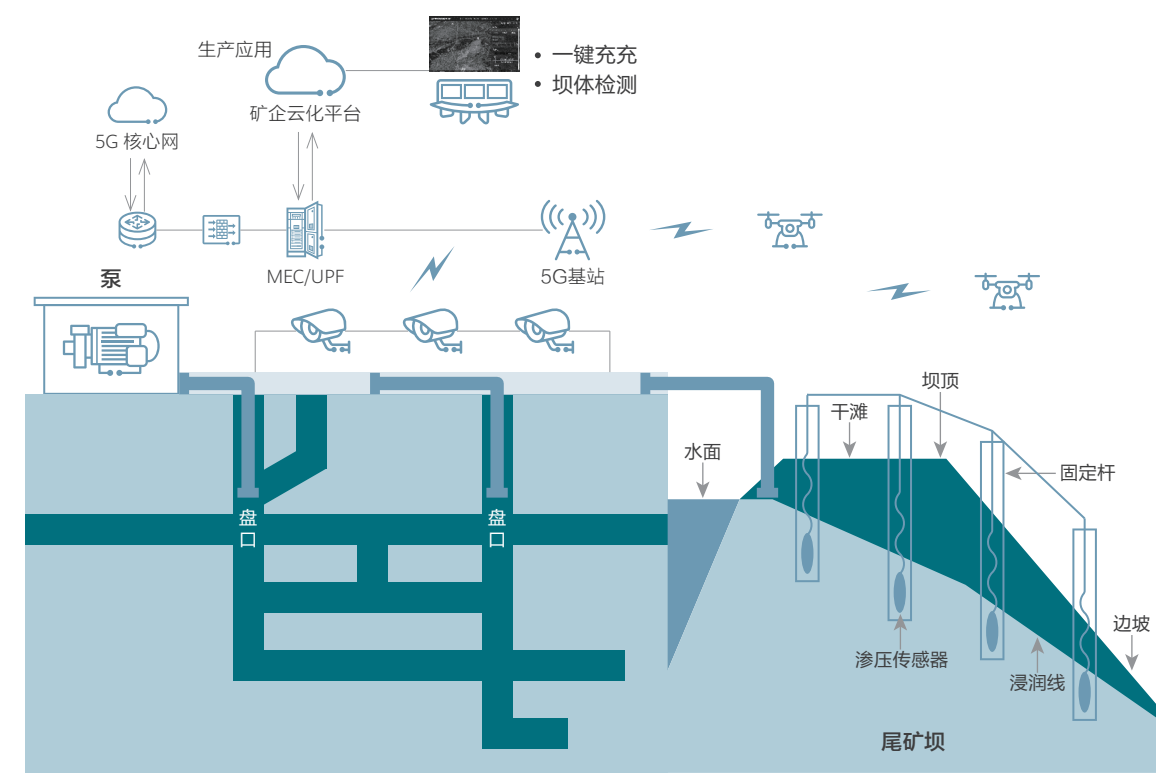


图 22 智能充填场景

智能充填场景主要是通过一键充填系统对尾矿的处理进行智能检测与管理。尾矿主要流向两个区域，大部分通过管网做盘口的充填，余下部分流向尾矿坝。尾矿的检测监控是环保环节的重中之重，现在主要通过人工巡检，模式落后且效率低下，当重大事故发生时无法做到实时预警。其中风险最高的场景包括充填管网的防泄露和尾矿坝的全方位监控。

6.5.1 充填管网智能监测

采矿充填输送系统中，充填料浆主要依靠管路进行输送，输送管道承受着相当的压力并经受很严重的磨损，严重时会引起堵管、爆裂等恶劣事故，尾矿管需要全天候巡检，避免无法及时处理泄露造成重大环保事故。

场景需求：尾矿管巡检，存在管道长、巡检道路难走、需要大量巡检人员轮班巡检等痛点，需要通过视频监控及结构化分析、搭配必要的辅助信息分析，全天候、智能化的监控尾矿管的安全运行情况，减少对工作人员现场管网巡检的依赖，针对尾矿管衔接点、拐弯处等重点环节实现重点监控，遇泄露发生情况可及时发现并自动告警并通知相应责任人处理。

方案：利用 AI 视频检控、无人机巡检、管路压力与流量传感等技术对充填管路进行全方位监测，提前预警预报，减少和杜绝管道泄露，保障管道运输安全。

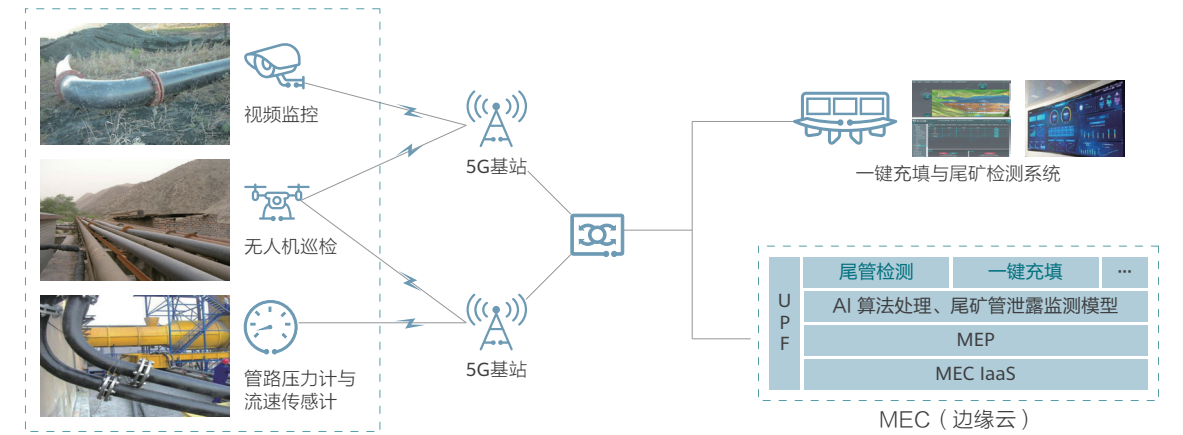


图 23 充填管网智能监测场景

定点监控：通过视频监控结构化分析，对关键管网衔接点、拐弯处等事故高发区域进行全天候检测和泄露智能识别报警。

管线巡检：网联无人机搭载高清摄像头对大面积、长举例管网进行定期自动扫描，结合管网模型判断运行状态。

辅助传感：关键环节安装管路压力计和流速传感计，辅助判断尾矿管是否发生重大爆裂、泄露事故。

应急措施：云端尾矿管泄露监测系统与一键充填系统互联，实现泄露情况下的尾矿输送紧急停止及尾矿回吸，可快速精准的派发应急任务到对应人员。

6.5.2 尾矿坝智能管控

我国尾矿坝特点包括筑坝尾矿粒度细、造成坝体稳定性较差、上游法筑坝多造成力学性能差，并对稳定不利、小型库多且管理水平不高；加之我国人口众多，三边库、头顶库难以避开居民区和重要工业、交通设施与基础资源，一旦失事则对环境、经济、生命安全造成极大危害。且尾矿坝是一个具有高势能的人造泥石流危险源，随着尾矿库筑坝越来越高，巡检坝体的重点位置越来越多。对坝体、坝面、排水、干滩和相关附属设备等的巡检成了重要的日常工作。目前常规的人工巡检密度已经无法保障坝体的安全，无法及时的掌握坝体的具体情况。

场景需求：通过各类新技术的综合利用，实现全方位、无死角、实时准确的监控尾矿坝坝体的具体情况，保障坝体安全。减少对现场巡检人员的依赖，降低巡检人员的劳动强度，提高坝体巡检的工作效率和质量，保障巡检人员人身安全，节约人工巡检成本、提升矿山经济效益。

方案：基于物联网、大数据、AI 机器视觉等技术，实时采集尾矿库水位、库区降雨量、干滩长度、浸润线、坝体表面位移、库区地质滑坡体表面位移等感知数据和实时视频图像，构建企业安全档案管理、安全态势感知、风险综合评估、智能分析研判、风险分级管控等尾矿库安全生产风险监测预警业务应用。

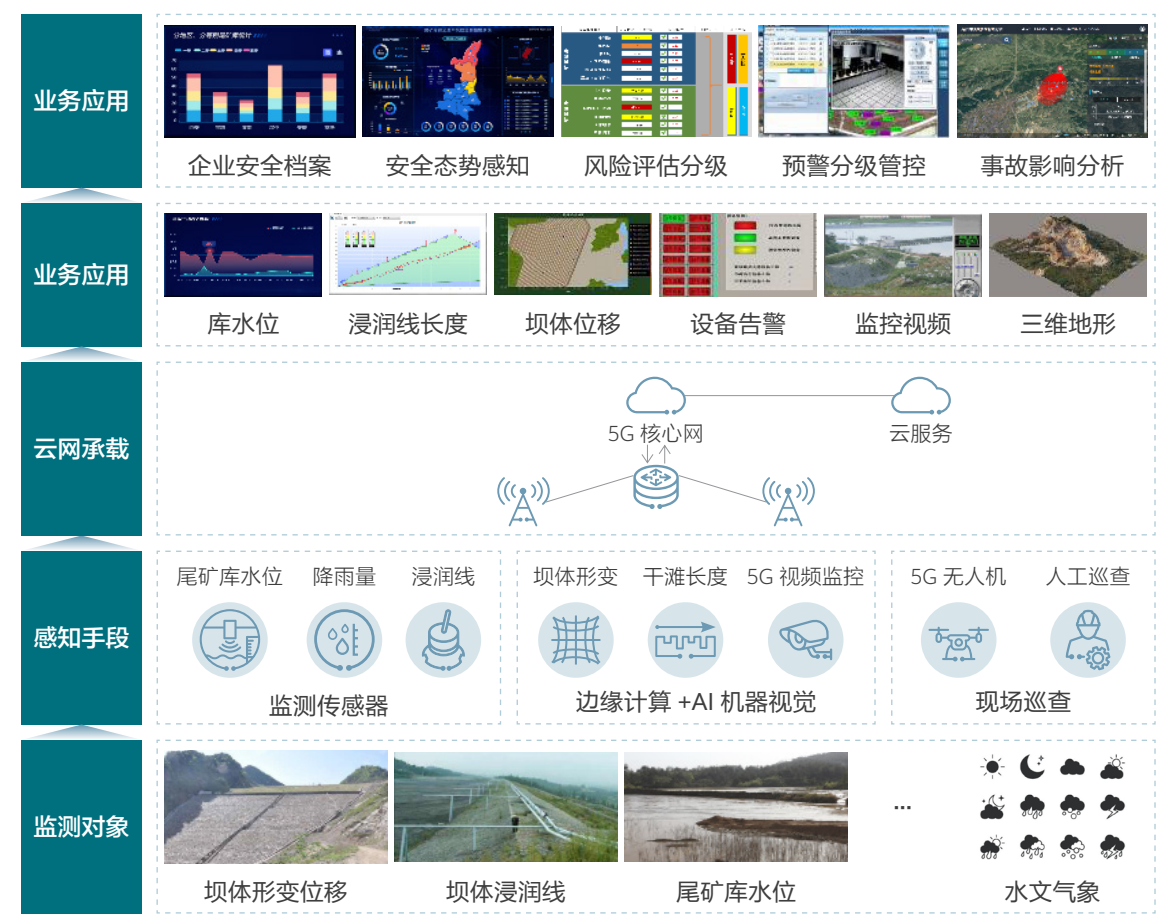


图 24 尾矿坝智能管控场景

安全态势感知：全面感知尾矿库安全生产运行状态，对感知设备和监控系统的异常状况、人员违法违规行为进行报警。

智能分析研判：对尾矿库进行立体、多维度的风险趋势研判和事故影响分析，智能生成分析报告。

风险综合评估：量化尾矿库风险监测指标，构建风险评估模型，绘制“红、橙、黄、蓝”四级安全风险空间分布图。

预警分级管控：自动生成风险预警信息和推送方案，预警信息精准推送，靶向发布。

6.6 智能通风

井下通风作业是在多个进风井与回风井配置不同功率的多级风机、风扇、风门，对各巷道、工作面的风量进行合理配置，为矿井生产空间提供新鲜风流，防止粉尘、有害气体、高温热害等井下灾害，保障井下通风达标。

随着井下作业面的变化，通风要求也会随之改变，需要通过各类型传感器实时全面的采集各类环境数据，控制通风系统按需智能送风，建立一种集优化计算、监测、网络智能决策、三维可视化为一体的智能通风系统。

通风系统智能化改造后，设备拆除、安装、调整、维护中的工作量将大大降低；传统风窗风门、风机调节靠人工完成，自动控制后增强了通风系统控制的实时性、合理性；风机是矿上的耗电大户，实时调控的智能通风系统根据业务需求调整风量，减少能源浪费；提升快速有效辨识潜在风险的能力，提前预防，保障生产连续性。

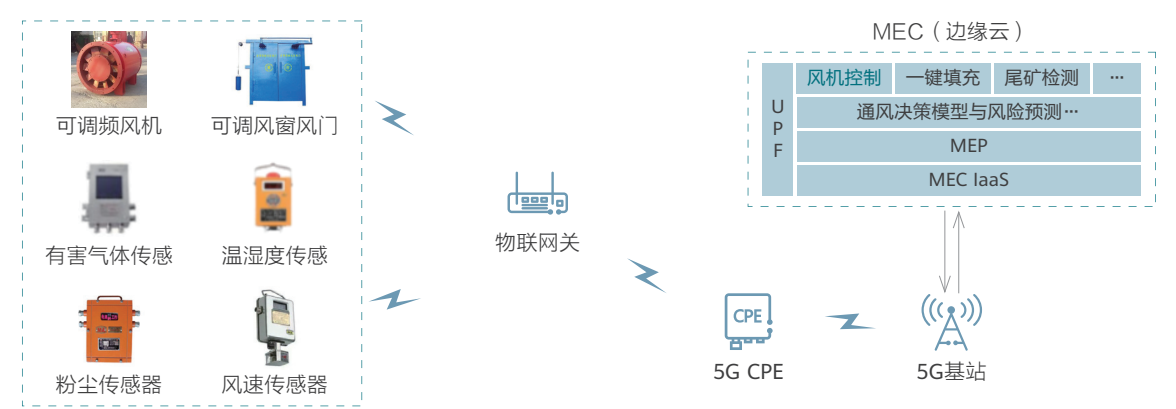


图 25 智能通风系统示意

方案：智能通风系统通过各类型传感器实时采集整个矿井各巷道的环境参数，感知矿井不同区域通风状态，结合系统工程技术、人工智能算法、运筹学、流体力学理论、安全规程要求等进行矿井通风仿真及实时解算，进行通风设施的智能调控，达到按需送风最优方式分配，同时保证系统运行稳，实现矿井通风网络的自适应优化。此外，智能通风系统可依据矿井通风系统的递进变化及灾害风险特征，完成通风系统稳定性与深度分析评价，实现对多主扇矿井灾变通风、全矿反风及局域反风的风量风速分布与转换特点跟踪分析，有效辨识通风系统的控灾特征与潜在风险，进而可以在应急状态下实现主要通风机和井下通风设施的管控。

6.7 智能生产

当前有色矿山大多生产子系统相对封闭，存在相当严重的系统割裂和数据孤岛，数据无法在不同部门之间共享和自由流动。通过 5G、大数据和可视化等新技术，基于互联互通的泛在连接，实时获取装备、控制及矿山生产过程的实时信息和设备运行状态信息。通过大数据共享平台的集成与应用，实现系统互联互通，及时、准确、全面地掌握矿山生产动态，实现矿山生产全面监测。实现矿山采矿、选矿生产业务的透明化、一体化管控。实现矿山生产经营情况的重要分析和辅助决策支持。实现矿山生产过程效率最大化，资源浪费最小化。全方位提高矿山生产效率、降低生产成本、降低劳动强度、保障矿山安全和质量。

方案：通过 5G 等全联接和矿山工业数据平台，实现系统互联和数据集成，实现人、物、过程、资金、信息、技术这六大数据流管理，建立统一、全面、先进的生产运营管理一体化协同平台，实现生产制造全过程的数字化管理，为矿山生产管理智能化、生产指挥精准化、生产质量均质化、生产消耗精细化、设备管理精益化、生产绩效目标化提供一站式解决方案，支撑矿企升级转型。

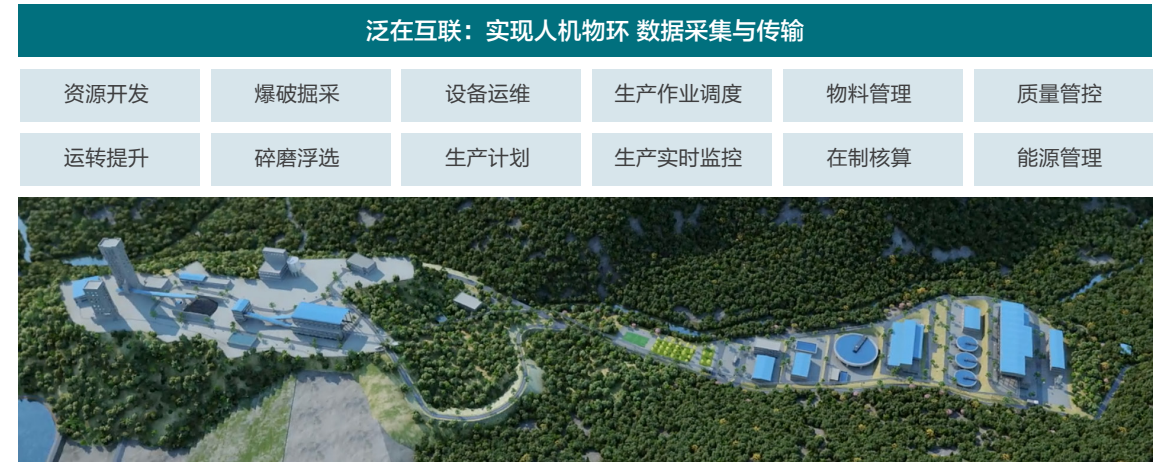
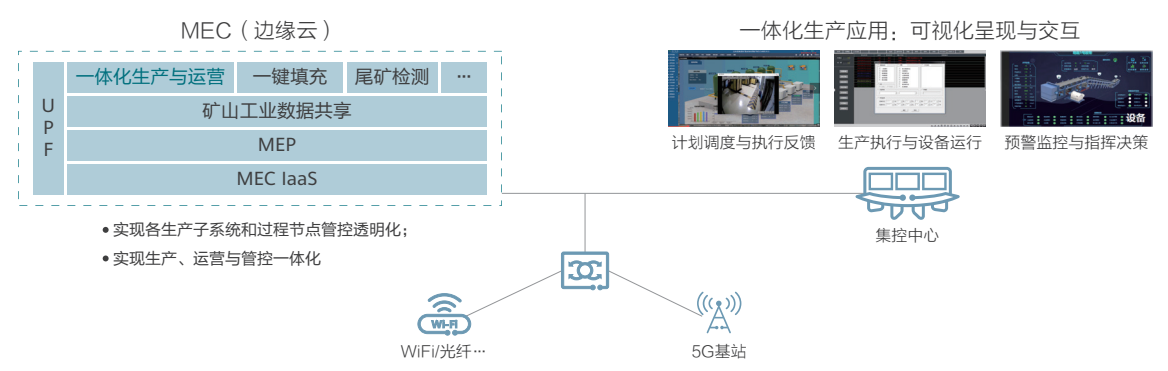


图 26 一体化生产与运营平台

通过 5G 等全联接，做系统互联和数据集成，打造工业大数据共享平台，实现各子系统数据共享和自由流通，实现人、物、过程、资金、信息、技术这六大数据流管理；

通过基于大数据和 AI 算法的智能生产管理系统，实现矿山采矿、选矿生产过程、管理过程和操作过程节点管控的透明化、一体化，可详细分析各环节生产模式，促进矿山生产流程优化、工艺优化，使矿山生产过程更加透明、可视、可控；

将 OT 与 IT 技术做整合，通过一体化运营，促进各业务单元和职能部门协作，全面提升矿山企业的生产组织管理水平、智能决策水平、实现价值最大化和全面智能化。

6.8 智能辅助

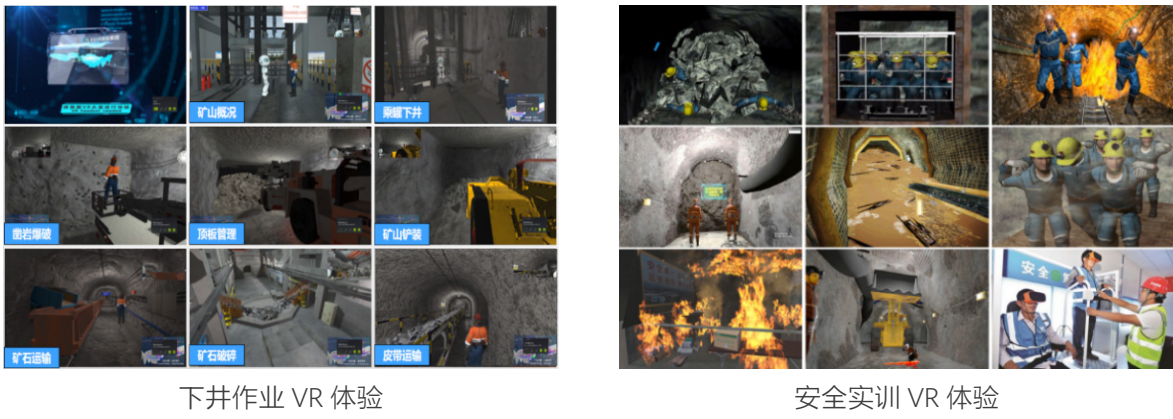
大型矿山作业流程繁多、工艺复杂、对安全生产技能要求高，同时设备检修 / 维护复杂，矿山企业自有人员一般不具备维护和检修能力，可通过引入云 VR/ 云 AR 可进行体验式培训、辅助生产与维护。

智能辅助 AR/VR 场景描述：

场景 1 VR 体验式培训

井下作业培训：通过井下培训平台的学习，使新员工、外来参观者、培训者能切身体验矿山井下作业环境和作业工艺流程，并掌握井下操作流程，实现视觉 + 听觉 + 触觉的体验式培训。培训平台基于 AR/VR 技术，结合动感座椅等相关硬件设备，以三维动态的形式全真模拟出乘罐笼下井体验、凿岩场景体验、凿岩作业体验、装药爆破场景体验、铲运机出矿场景体验等井下真实场景，保证井下作业操作实训效果。

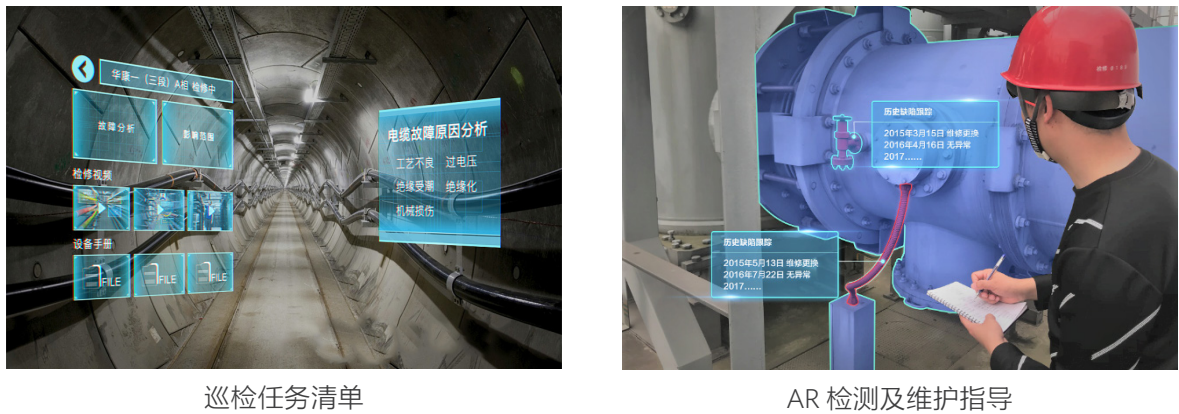
井下安全及应急实训：安全实训系统不同于传统的培训方式，其特点在于将传统的平面培训方式改变为立体化，将原来的“训完再考”方式转变为“边训边考”。高仿真的三维环境与高真实感的交互体验能够极大程度地提高安全教育培训效果。以 VR 体验的方式，使作业人员“亲历”矿山生产中



不安全行为带来的伤害，起到引导规范操作，安全警示教育的作用，可规划内容包括采场冒顶、机械伤害、高处坠落、触电事故、井下火灾、粉尘爆炸、电机车超速、中毒窒息等事故。同时，VR 实训系统可以帮助学员快速掌握应急场景下的单人，多人协作应灾措施，体验式演练灾难时的应急方案和救援方案。

场景 2 AR 辅助巡检及设备检修

基于矿山三维建模绑定现场装备装置及控制系统的实时数据场景，使用 5G AR 眼镜对矿井管道、大型设备等进行智能巡检、点检，自动记录设备状态，提前预防及时维护；工作人员可以随时随地调取工作流程信息，查看和设备情况——对应的操作说明书、图纸、文件等材料，全程可以按照工作流的提示来进行操作，完成工序，简单便捷；同时通过 IoT 传感器反馈的实时数据，在巡检过程中为工程人员提供数据支撑。



场景 3 AR 辅助远程协作

在工作过程中，利用 5G AR 远程通讯与多方协作系统，支持第一现场与远程专家的音视频双向实时沟通。远程专家可以实时看见第一现场的设备状况、操作内容，并在画面中标注指导信息，传输相关文件，实时同步到现场人员佩戴的 AR 眼镜上，高效解决问题。专家可以随时随地，使用远程方式对第一现场进行操作指导，及时修复设备问题，减少设备停机和恢复时间，同时降低专家差旅费用，提升工作效率。

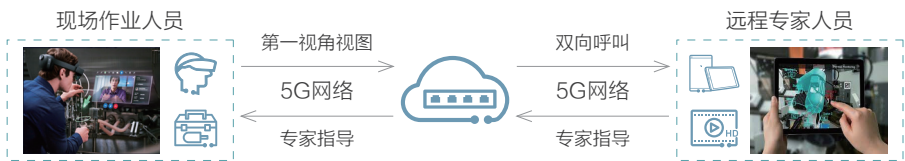


图 27 AR 远程协作指导示意

智能辅助 AR/VR 价值分析：

快速掌握生产及安全防范技能：通过 AR/VR 技术帮助矿山新员工体验矿山各生产环节对应实际操作场景，快速掌握生产知识与技能，以逼真的体验和操作，探索和实践有色金属矿山井上井下各场景活动；对于矿山高风险作业场景，通过 AR/VR 体验式实训，快速提高员工的操作熟练度及应急自救能力，减少实际作业的危险性，辅助保障安全生产；

提升生产和运维效率：通过 AR+5G 带来全新的辅助作业模式，AR 眼镜 / 头盔将解放双手，联动系统实时数据，通过 AI 辅助指导作业（例如检修），并对操作过程进行全记录，既方便人员管理，又提高生产绩效；当出现矿区人员解决不了的疑难问题时，可通过现场 AR 视频直播 + 远程人员的多屏协作来给与现场人员操作指导；

降低企业成本：在传统生产与培训中，设备与材料损耗、场地设施费用、差旅等占据很大比例，通过 AR/VR 远程协作与实训，成本大大降低，并可重复使用。

智能辅助 VR/AR 方案：

如果 VR 培训场所在培训中心楼宇内，可优选 WiFi 进行培训区域覆盖以提供 VR 终端连接；如果 VR 培训场所在露天开阔区域，或固定网络连接区域，可优选 5G 网络覆盖。VR 内容服务器可按使用需求部署在厂区专网或使用外网 VR 云。

由于 AR 智能辅助大多发生在移动场景，建议通过 5G 网络来进行覆盖并保证上行视频回传和服务器端内容下载的带宽需求。以 1440p 视频分辨率为例，AR 终端则需要 >10Mbps 的网络带宽，可达到较好的使用体验。建议可同步部署本地 AR 服务器和公有云 AR 服务，以满足不同业务需求。

例如，上图场景 1 可使用矿区 AR 服务器进行日常 AR 巡检和设备检修，场景 2 可使用本地 AR 服务器进行矿区内的协作工作，场景 3 则需要部署在公有云的 AR 服务来完成远程协作功能。如要得到比较好的远程协作互动体验，需要保证网络时延在 100ms 内。

6.9 智能监控

视频 AI 是智能矿山的使能者，基于人工智能机器视觉、图像识别等技术，通过智能边缘服务、云上数据服务、AI 开发平台，实现对有色金属生产的采掘、运输等业务场景视频监控数据和物联网数据的智能分析，对有色金属生产过程各类场景中人的不安全行为、物的不安全状态进行实时监测预警，满足生产安全监控要求，驱动安全生产管理。

需求一：“人”的本质安全

人的安全化是矿山生产的大事，在重点生产环节和作业场所安装高清摄像头，通过大带宽的视频回传，

对人员威胁安全生产的危险行为进行智能识别，监督各工种高效生产，保证作业人员安全。

需求二：“机”与“物”的安全状态

“机”与“物”是指矿山生产所使用的设备、工具等辅助生产用具和生产相关的物件、物料，通过视频 AI 协助分析设备运行状况，保障每台设备的正常运转，保证设备的完好率，才能保证矿山的正常生产，才能避免和减少安全事故。

需求三：环境安全

环境安全是安全生产的重要基础，新一代的矿山园区安防需要无死角、高清、实时的监控系统，识别火灾、爆炸、交通违规行为等，联动应急预案保障生产经营的正常有序运转和稳健发展。

方案：基于 5G 边缘计算中心可通过 5G 网络实时获取多种视频源，由部署在 5G 边缘 DC 上的算法引擎和算法模型对图像进行推理分析，并形成推理结果，反馈给上层应用进行呈现。同时，为了解决新场景快速开发的问题，通过建设或者租用 AI 自主训练平台，有色金属行业用户可自行上传图片，由 AI 自主训练平台进行图片对象标注、模型训练、基于规则的模型编排和模型下载部署。通过这种方式，矿山用户可自行完成图片获取、模型训练、各编排和模型部署的全流程，能够极大降低新场景的开发周期和 UC 成本。

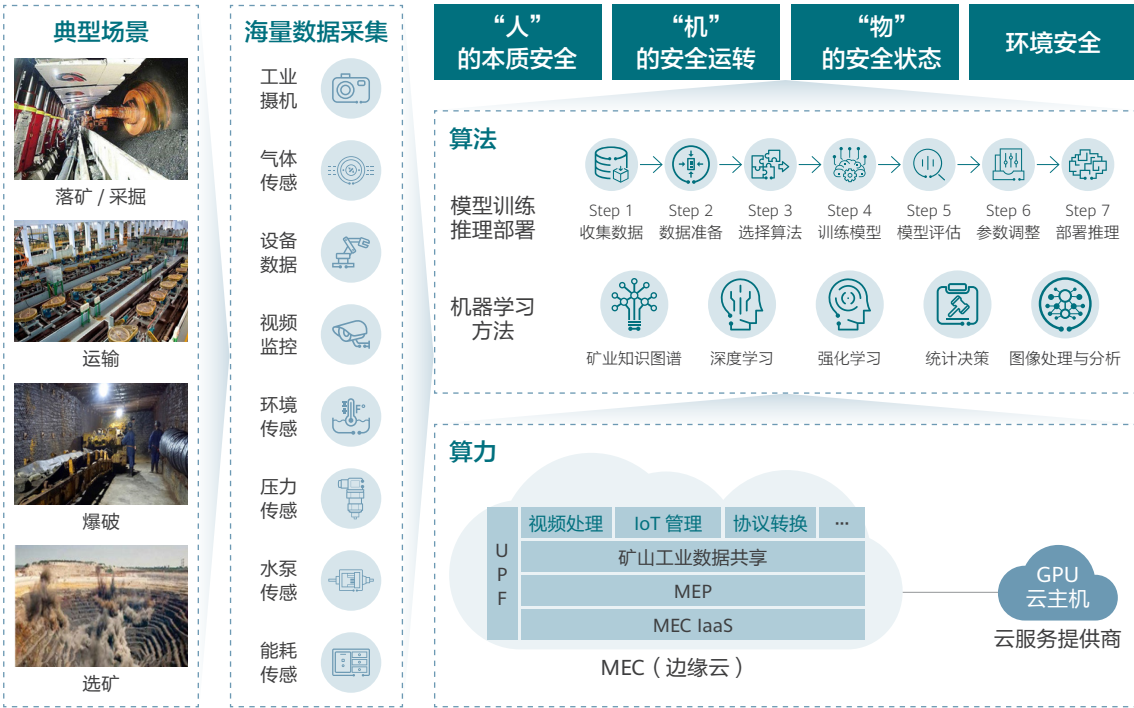
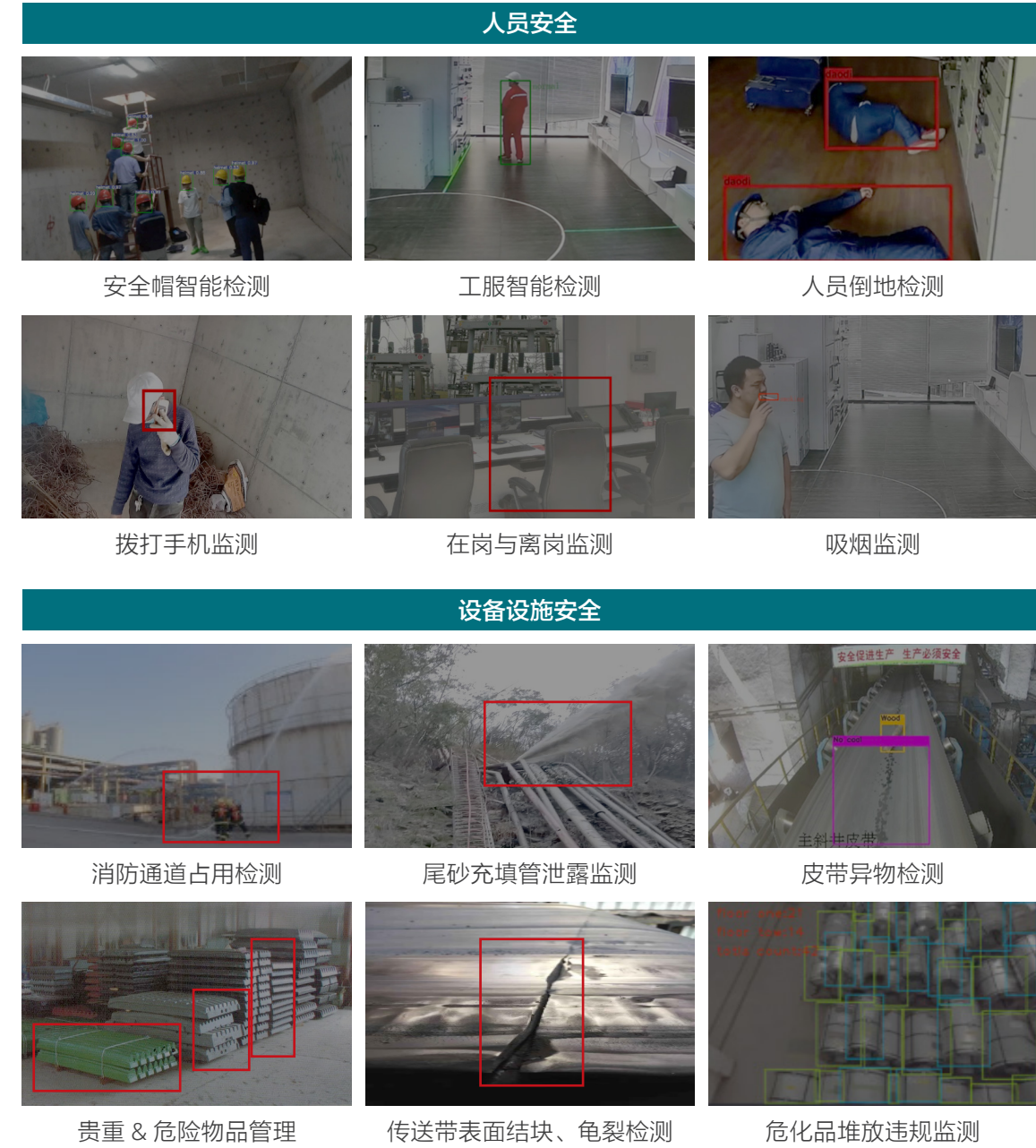


图 28 智能监控解决方案示意

云端主要负责模型的训练和资源的管控，通过云端的人工智能开发平台，结合人工智能算法实现数据的智能化应用开发，同时也负责对分支站点和边缘计算节点进行管理及配置；边缘计算提供快速、高效、精准的实时推理响应，承担大量的数据处理及计算功能，可有效缓解云端计算压力，降低时延；端侧设备和传感器则实现视频数据和 IoT 数据实时采集及传输。

应用场景：矿山生产过程中，常常会出现一些高风险事件或不合规行为，如未及时发现可能导致安全事故。为此需要对生产全过程进行分析与管控，实现自动化、高精度、无人监守的安全作业，同时提高矿山日常巡检质量和重要岗位安全生产监管效率，避免安全事故的发生。





价值：

无线化：5G 与视频技术在井上 / 井下融合，解决智能矿山对移动通信、大带宽、低时延的述求，可实现井下高清视频实时回传，海量传感器数据回传。

智能化：有色金属矿山视频 AI 采用开放式的架构，各领域合作伙伴可基于一站式 AI 开发平台，针对于矿山井下不同的业务场景，进行模型的敏捷开发和训练；并且随着数据的积累与模型的完善，各场景算法会越来越贴合业务需求，“越用越智能”。

安全：智能软件定义摄像头，提供了有色金属矿山井下的 AI 全场景覆盖，根据矿山客户不同的应用场景使用不同的智能算法，做到了事前预防，事中防护和事后追溯，更好为矿区安全生产提供便捷，智能，安全的保障。

缓解用工难：有色金属行业高风险、高劳动强度，技术人才招聘难，人才队伍呈现青黄不接的态势。充分利用视频 AI 技术来代替高风险、高重复性的人工劳作，提高劳动生产效率，以此来应对有色金属矿山“用工荒”问题。

6.10 超远距控制

有色金属矿山生产环境艰苦，工作人员需要忍受高温、粉尘、高湿、有害气体、高海拔环境，职业病高发，且作业过程中安全问题突出。为此，将矿山作业进行拉远处理，在拉远的调度中心对矿山作业设备进行启动、停止、方向调整、高度调整、速度调整等控制动作，现场工作面仅保留少数巡检人员。为实现拉远作业，现场设备需做远控改造，网络侧需 5G 公网切片和专线技术，满足远程控制所涉及的信息采集、视频监控、人员通信等需求。

基于拉远作业场景，把操纵从生产环境中抽离出来进行远程操作，危险现场无人少人化，保障了生产安全性；实现“白领”工人办公室操控，提高就业意愿，缓解招工难的问题；运营商公网的切片实现公网业务隔离，支撑矿区以外的企业监控中心与远程操控中心等应用；从“三人一控”到“一人多控”，资源也实现共享，可以根据现场进展，灵活安排人员，效率得到提升。

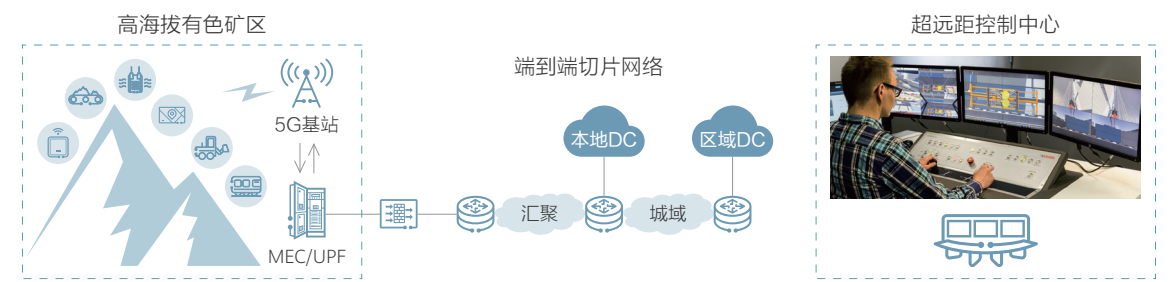


图 29 高海拔超远距场景解决方案示意

方案：将现场作业设备的操控端和执行端进行分离，5G 网络为拉远的控制端和现场的执行端之间提供低时延、高可靠、大带宽的网络连接，使操作端摆脱生产现场的空间限制，为操控人员提供更安全和舒适的生产环境。

执行端：通过 5G 基站覆盖矿区作业现场，通过 CPE 连接路由器以及二层交换机，连接摄像头及现场作业设备执行器，并通过现场作业设备执行器实现对矿区作业的远控。

操控端：在远控区中控室覆盖 5G 信号，并通过 CPE 连接路由器以及二层交换机，通过作业设备控制器及 NVR 模块，接入远程操控中心和高清显示屏，实现远程控制功能。

5G 切片网络 /SLA 保障专线：面对不同业务对网络性能差异化的网络服务诉求，5G 切片网络 /SLA 保障专线提供灵活资源调度组合、统一基础设施与高效运营运维，实现矿区业务端到端的差异化 SLA 保障，对一些跨省场景优选 SLA 保障专线。

7 精益化：管理增值

矿山数字化转型，不仅仅是技术上的转型，也是管理上的转型。需要基于对矿山行业数字化未来的理解和判断，重构现有的管理模式、运营模式和组织模式。未来智能矿山，数据和知识成为主要的生产要素，数据将驱动管理精益化、组织扁平化、运营高效化。因此，我们提出智能矿山数字化转型管理体系，驱动矿山全面转型升级。

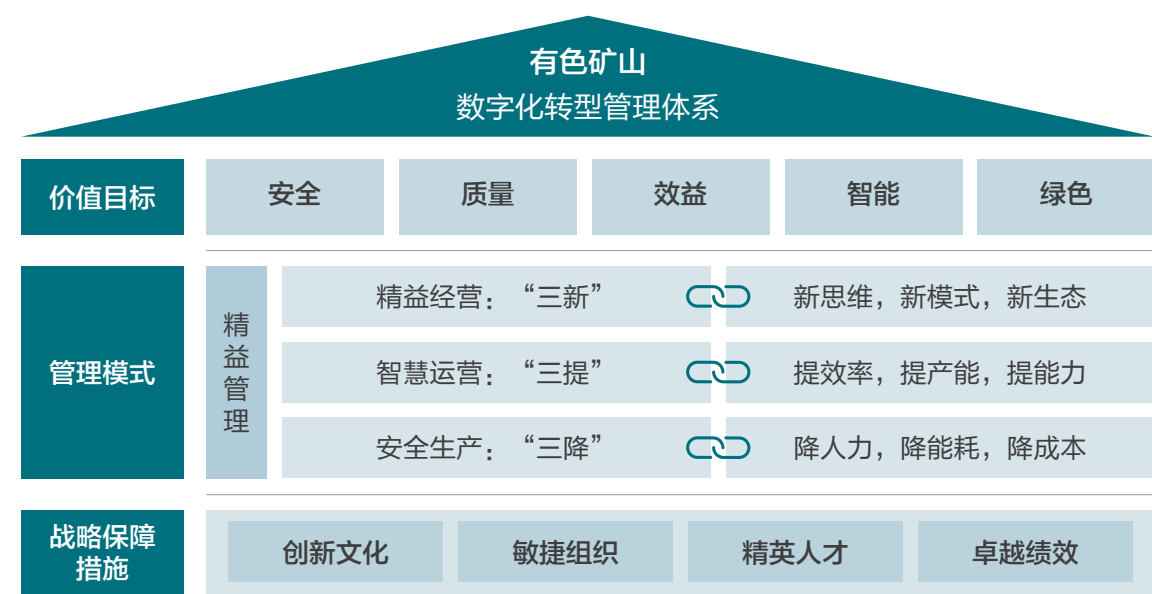


图 30 矿山数字化转型管理体系

7.1 价值目标

数字化能力是企业的核心竞争能力，同时也是基本生存技能。企业数字化战略转型需要着眼未来，安全、质量、效益、智能和绿色是当下数字化转型亟需提升的价值目标。

安全：矿山安全是矿山管理的重中之重，安全生产或无人生产成为矿山企业可持续发展的基础。

质量：精益质量管理在于应用数字技术实现生产流程标准化和自动化，减少人为缺陷，提升生产质量。

效益：通过数据分析，准确预测市场需求，有效整合资源，制定灵活的生产计划，实现产销协同。提高产能，减少库存，提升经营效益。

智能：通过智能调度实现机器设备自主运行或人机协同运作，提升矿山管理的智能化水平。

绿色：绿色的可持续发展模式是矿山企业未来必经之路。低碳节能，低能耗，环保是企业的社会责任，也是基本生存基础。

7.2 管理模式

面对安全事故，运营低效，能耗过大等行业挑战，精益管理对矿山企业而言尤为重要。数字技术与产业融合，重塑企业的经营模式、运营模式和生产模式，提升管理水平，实现高质量发展。

精益经营：精益让经营更精细化，矿山企业用新思维来重塑企业经营模式，推动经营主体网格化（例如，阿米巴模式），责任中心基于价值经营。

新思维：数字化转型不仅是技术变革或是产业变革，更是一场认知变革。用战略思维，重构竞争优势；用价值思维，重建价值体系；用运营思维，重塑运营模式；用创新思维，重构商业模式；用数据思维，重造数字能力；用变革思维，重定治理标准。

新模式：数据辅助科学决策，驱动价值经营，推动精细化管理。首先对生产经营主体划分不同的责任中心，其中利润中心拥有经营决策权，收入中心需创造收入，成本中心追求低成本高效益，投资中心对投资回报负责。每个责任中心建立量化决策机制，通过数据 +AI，实现科学决策和智能运营，提升运营效率。

新生态：数字时代，企业之间的合作关系，将从基于价值链的买卖关系转化为基于生态平台的价值网络协同关系。矿山企业将融入产业互联平台实现价值创造、价值传递和价值获取的闭环，新的生态模式将成就新的商业价值回报。

智慧运营：数字化转型的终极目标是达到数字化和智能化运营。智能矿山将依托“智慧大脑”来提升运营效率，提升产能和提升数字化能力。

提效率：智能矿山将改变传统的作业模式，从勘探、开发到供应、生产、配送、销售、交易，甚至闭矿等核心业务流程全过程都进行数字化，使矿山企业做出更加严谨的决策，提高运营效率。

提产能：资源数字化，数据价值化，基于数据分析的智能调度平台将优化企业资源配置，在单设备自主运行基础上实现多设备自主协同和智能调度，从而提升产能。

提能力：数字化能力是智慧运营的基本条件，传统矿山企业的数字化水平相对较低，亟需快速构建面向未来的数字化运营能力，包括全联接与云数字底座、矿山数据共享平台、业务平台、大数据

挖掘与分析、业务自动化算法模型等。

安全生产：针对矿山作业环境恶劣、人员安全风险高等问题，通过 5G、物联网、监控、GIS 等技术，全面提升生产自动化和智能化，减少人力，降低成本，实现面向人 - 机 - 物 - 环的全方位主动安全管理。

降人力：通过 IT,CT,OT 等技术的融合创新，对设备进行技术改造，实现自动凿岩远程操控、电铲远程操控、矿卡自动驾驶、电机车远控、AI 安全视频监控，减少人力，保障人员安全，实现无人矿山自动化生产。

降能耗：建设由能耗计量装置、数据传输系统及监控平台组成的矿山能耗实时监测系和能耗优化调度系统，以企业能源实时成本、产能指标、生产计划为决策依据，建立矿山能耗优化模型，动态调节矿山大型用电耗能设施、装置的作业计划，降低矿山整体能耗水平。

降成本：长期来看，无人矿山将降低人力成本，生产自动化和基于 AI 的智能调度，将极大地提升资源利用率，降低生产成本。

7.3 保障措施

Gartner《2021 全球 CEO 调查报告》显示，60% 接受调查的 CEO 表示，他们押注于数字化转型和人工智能。越来越多的 CEO 认为数字化变革和投资是其组织的首要任务。数字化转型需要有效的变革保障措施，包括创新文化、敏捷组织、精英人才和卓越绩效。

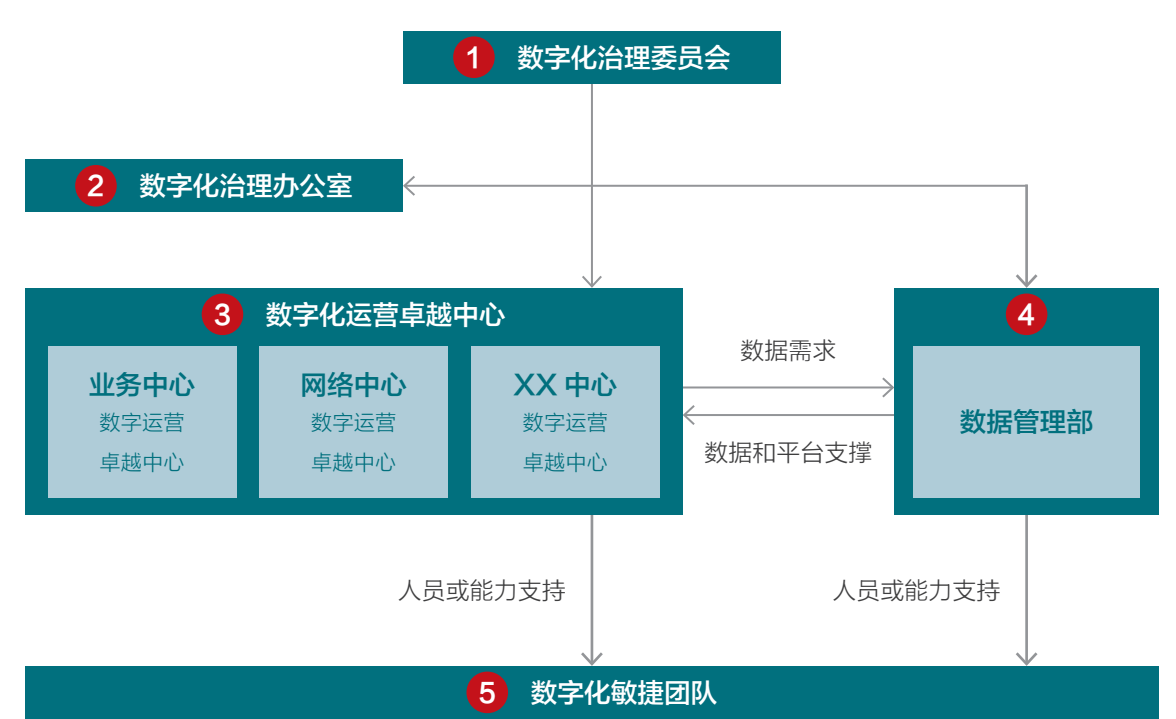
创新文化：数字化转型推进过程中，最大的阻力之一是员工抵制，占比 80% 以上。未来的数字化企业将以完全不同的形态和方式运行。其推行过程中需要极大地突破传统企业的“舒适区”，在缺乏经验的未知领域探索，新旧两种文化观念冲突长期存在。因此，企业数字化转型需要培育数字文化、变革文化和创新文化。

数字文化：积极拥抱数字化，通过数据来改变传统的管理思维和模式，习惯用数据说话，用数据探索，用数据决策，用数据管理，用数据创新等。

变革文化：勇于探索，拥抱变化，自我颠覆，持续变革。

创新文化：崇尚创新，宽容失败，支持冒险，在数字化转型过程中更加积极主动。

敏捷组织：工业时代流程定义组织，数字时代数据定义组织。需要从战略层面构建数字化转型的治理委员会，业务层面成立卓越运营中心，运营层面组建数据管理部和敏捷创新团队。数字化转型从战略到执行，逐步推动变革转型规划、实施与落地。



图标： 虚拟组织 实体组织

注：
各部门职责
1）数字化治理委员会：对数字化转型进行投资与决策，从战略层级明确数字化转型的方向和战略目标。
2）数字化治理办公室：从项目管理和变革管理角度，推动数字化转型从战略规划到实施落地。
3）数字化运营卓越中心：对业务转型成功负责，规划业务数字化转型场景和能力构建，并进行常态化运营，以数字驱动持续创新。
4）数据管理部：对数据资产，数据质量，数据平台搭建负责，提供数据能力支撑。
5）数字化敏捷团队：针对跨业务领域的专题研究与探索，对专项成功负责。

图 31 数字化转型组织架构

精英人才：智能矿山企业，重复性的工作将交给机器来运作，释放大量的人力。同时亟需大量的新技术和业务创新人才，包括能够将技术与业务结合起来的跨领域人才，以及高水平的转型人才。

数字化战略规划师：洞察技术变革和产业升级的驱动力，研究产业、行业、市场、客户和产品需求变化趋势，明确数字化转型的战略方向和目标，制定公司数字化转型战略和变革规划场景等。

数字化业务设计师：以市场需求和客户体验设计数字化的商业模式，规划数字化产品或服务，构建业务数字化能力。

数字化运营架构师：以数字驱动数字流程体系和数字平台体系规划和设计，通过数据探索与研究，不断提升运营效率

敏捷交付经理：组建敏捷交付团队，用精益思维和敏捷方法，实现快速交付。

合规专员：保证网络、数据和个人隐私等合规与安全。

卓越绩效：为了创造卓越的变革绩效，企业必须围绕数字化的愿景和战略，制定转型成功标准、度量指标和激励制度，实现灵活的绩效管理。

数字化转型成功标准：战略层面是否有利于构建公司的核心竞争力和可持续发展能力，商业层面是否有利于构建多方共赢的商业联盟，运营层面是否有利于提升企业运营效率，管理层面是否有利于组织提升管理绩效。

数字化转型价值指标体系：数字化转型是商业价值与战略价值驱动的战略投资，需要构建价值树来识别关键的价值机会点，从而驱动关键举措的设计与实施。

激励机制：创新变革的数字文化和开放包容的卓越绩效需要激励制度来保障。鼓励创新、奖励成功、欣赏有价值的失败是激励机制的核心要素。

绩效管理：企业通过数字化转型来实现管理更简单、组织更敏捷、生产更柔性、业务更有弹性。基于年度计划的绩效管理不再适合快速变化的业务、组织和人才管理，需要构建灵活的管理机制，业务目标因环境动态调整，组织目标因业务快速匹配，人员目标因组织目标变化快速协同联动。

总之，矿山数字化转型，业务数字化转型的同时也要伴随管理转型，实现精益管理，提升经营效益，运营效率和生产安全。战略执行需要战略措施来保障，培养数字化的文化，减少变革阻力，构建数字化的组织和人才能力，提升变革能力，实现开放包容的绩效管理，确保变革价值公平公正地分配与共享，最终助力矿山数字化转型成功落地。

展望

随着“5G+AI+ 云”等新技术与有色矿山的深度融合，不远将来，会出现更多掌控信息化手段的年轻白领，坐在后台指挥调度矿山的生产与经营。智能矿山是个系统工程，涉及装备、网络、检测、数据、管控等相关技术领域，需构建多学科、多技术创新以及相互交叉的解决方案。智能矿山可持续发展，需基于安全、低成本的运维保障，这些也将是智能矿山建设中的重中之重。

未来，数字孪生技术也将广泛应用于生产管理各个环节。通过部署矿山采掘、磨选、浮选的数字孪生，将大数据分析用到生产流程中，采用信息化方式管理无人电机车、无人矿卡等，这些新的管理技术，势必大大提升矿山开采和运输能力，降低劳工成本和运营成本。

例如：通过全联接数字化手段获取到每一辆无人电机车、铲运车、卷扬机等设备状态、轨迹以及料量信息，结合视觉分析及机器学习支撑智能调度和智能配矿，有效的降低设备能耗，以及轮胎、胶带等部件的磨损，并提前预知潜在故障，实现安全冗余应对突发场景；通过无人机测绘，三维建模可实现采矿量、堆场石方量等生产数据的准确统计，便于资产高效管理；通过对环境数据的全面感知，完成实时数据监测位移，探测滑坡隐患，保障人员、基础设施的持续运转；通过 AI 人脸识别助力生产流程规范化，保障场景安全。

随着矿山业务复杂度的增加，未来要在矿山企业内部和产业链上下游之间，实现产业互联和协同，这需要系统集成商、装备制造提供商、ICT 技术企业、矿业研究机构等多方交叉协同，充分利用矿山 5G 专网和矿山数字共享平台，实现人、机器、物料、环境、市场供需等行业数据全面、实时感知和动态传输，形成实时分析的数字孪生系统，支撑系统模拟、仿真决策（如：通过开采量、供应链与市场需求、矿石价格等形成多方供需协同），实现新的价值创造，从而提高资源配置效率，实现风险防控和卓越运营。

缩略语

英文缩写	英文全称	中文释义
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
4A	Account Authentication Authorization Audit	帐号认证授权审计
5GC	5G Core	5G 核心网
AAA	Authentication-Authorisation-Accounting	鉴权、授权、计费
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AP	Access Point	接入点
APP	Application	应用
API	Application Programming Interface	程序编程接口
APT	Advanced Persistent Threat	高级持续性威胁攻击
AR	Augmented Reality	增强现实
ARP	Address Resolution Protocol	地址解析协议
BBU	Baseband Unit	基带单元
CPE	Customer Premise Equipment	客户终端设备
CT	Communication Technology	通信技术
DNN	Data Network Name	数据网络名称
DTLS	Datagram Transport Layer Security	数据报传输层安全
E2E	End to End	端到端
ERP	Enterprise Resource Planning	企业资源计划系统
FlexE	Flexible Ethernet	灵活以太
FTP	File Transfer Protocol	文件传输协议
GE	Gigabit Ethernet	千兆以太网接口
GIS	Geographic Information System	地理信息系统
GTP-U	GPRS Tunneling Protocol-User Plane	GPRS 隧道协议用户面部分
HTTP	Hypertext Transfer Protocol	超文本传输协议

英文缩写	英文全称	中文释义
IaaS	Infrastructure as a Service	基础设施即服务
IAM	Identity and Access Management	统一身份认证服务
ICT	Information and Communications Technology	信息和通信技术
IDS	intrusion detection system	入侵检测系统
IMEI	international mobile equipment identity	国际移动设备标识
IMSI	International Mobile Subscriber Identity	国际移动用户识别码
IoT	Internet of Things	物联网
IP	Internet Protocol	互联网协议
IPSEC	Internet Protocol Security	因特网协议安全协议
IT	Information Technology	信息技术
MAS	Manufacturing Automation System	制造自动化系统
MEC	Multi-Access Edge Computing or Mobile Edge Computing	多接入边缘计算
MEP	Multi-access Edge Platform	多接入边缘平台
MIMO	Multi-Input Multi-Output	多入多出
NAT	Network Address Translation	网络地址转换
NFS	Networked File System	标准文件协议
NMS	Network Management System	网络管理系统
O&M	operations and maintenance	运营和维护
OT	Operation Technology	操作技术
PaaS	Platform as a Service	平台即服务
PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
POD	Networked File System	标准文件协议
POP3	Post Office Protocol 3	邮局协议第 3 版
RDP	Remote Desktop Protocol	远程桌面协议

英文缩写	英文全称	中文释义
ROI	Return On Investment	投资回报
RRU	Remote Radio Unit	远端射频单元
SLA	Service Level Agreement	服务等级协议
SMF	Session Management Function	会话管理功能
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol	简单邮件传输协议
SQL	Structured Query Language	结构化查询语言
TELNET	Telecommunication Network Protocol	电信网络协议
TLS	Transport Layer Security	传输层安全性协议
UC	User Case	用户场景
UE	User Equipment	用户设备
ULI	User Location Identifier	用户位置标识
UP	User Profile	用户画像
UPF	User Plane Function	核心网用户面功能
vFW	virtual firewall	虚拟防火墙
VLAN	Virtual Local Area Network	虚拟局域网
VNF	Virtual Network Function	虚拟网络功能
VPC	Virtual Private Cloud	虚拟私有云
VPN	Virtual Private Network	虚拟专用网络
VR	Virtual Reality	虚拟现实
VRF	Virtual Routing and Forwarding	虚拟路由转发
VXLAN	Virtual Extensible Local Area Network	虚拟扩展局域网