

5G 赋能有色金属 行业智能化发展白皮书



主编单位：

中国铝业集团有限公司

中兴通讯股份有限公司

中国信息通信研究院

参编单位：

贵阳铝镁设计研究院有限公司

昆明有色冶金设计研究院股份公司

中色科技股份有限公司

长沙有色冶金设计研究院有限公司

中国移动通信集团云南有限公司

参编人员（排名不分先后）：

马 金 姜永湖 梁雨锋 张洪建 张春生 颜非亚 杨世勇 杨 涛
张 涛 丁宏波 马书志 龚 然 王云飞 王友鹏 吴道林 赵 泉
沈 超 沈嘉权 杜南锦 田 野 张加进 刘 欢 杨谦瑞 杜加懂
张天静 赵洪涛 刘 祎 刘大勇 张维庆 田晓博 周 峰 曾德勇
高 峰 赵孝武 李萍萍 于 灏 辛 毅 郭 婷 余安琪

目录

01	序言	
02	有色金属行业现状及趋势	
	规模应用，凸显有色金属行业战略价值	03
	理清痛点，明确有色金属行业发展方向	04
	政策引领，加速有色金属行业智能化转型	05
06	5G 成为有色金属行业转型的技术引擎	
	5G 构建有色金属行业转型基础	07
	5G 构筑有色金属行业转型框架	08
	5G 有色金属行业应用成效初显	09
10	有色金属行业关键环节 5G 融合应用场景	
	有色金属矿山 5G 应用	11
	有色金属冶炼 5G 应用	18
	有色金属加工 5G 应用	25
32	有色金属行业 5G 融合应用发展路径	
	有色矿山 5G 融合应用发展路径	33
	有色冶炼 5G 融合应用发展路径	34
	有色加工 5G 融合应用发展路径	35

序言

有色金属产业作为重要的基础原材料产业，已经成为决定一个国家经济发展、科技进步、国防建设的重要物质基础。新中国成立 70 多年，我国有色金属行业经历了从无到有、从小到大、由弱到强的艰难发展历程，取得了有目共睹的辉煌成就。2021 年我国有色金属生产保持平稳增长，10 种常用有色金属产量达到 6454.3 万吨，较去年增长 5.4%。

习近平总书记指出，科学技术是第一生产力，创新是引领发展的第一动力。作为有色金属大国，我国必须紧紧抓住科技创新这个核心，通过智能化转型，解决有色金属行业产业结构不合理、发展不平衡、资源短缺、产能过剩、创新不足、能源紧张和环境污染等难题，坚定迈向有色金属强国。

5G 是第五代移动通信技术，具有超高速率、超大带宽、超低时延、超大规模连接以及超高可靠等特点，为“万物互联”而生，可实现所有生产装备连接、在线、上云，支持 IT 域和 OT 域的融合。与云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术深度融合，赋能有色金属行业的智能化转型。

本白皮书以网络共享、数字汇聚、平台协同为路径，依托有色金属行业“1+1+3+N”智能化技术框架，构建“1”张 5G 专网和“1”个有色一体化管控平台，为有色金属产业链的“3”个环节提供“N”个智慧应用。白皮书致力于解决生产工艺、管理流程的发展痛点，支撑实现装备操控远程化、生产运行智能化以及管理决策信息化，达到降低生产能耗、提升管理效能、改善作业环境的发展目标，助力有色金属行业转型升级。

本白皮书旨在发挥 5G 技术的优势，总结并梳理有色金属行业矿山、冶炼和加工环节典型场景的智能化应用。同时，结合有色金属行业智能化发展方向、技术先进性以及智能应用的成熟度，明确 5G 与有色金属行业的融合发展路径，为有色金属行业转型提供参考和指引。

有色金属 行业现状及趋势



规模应用 凸显有色金属行业战略价值

有色金属，是指除铁、锰、铬之外的所有金属的总称，在我国，列入有色金属范围共 64 种金属，其中，铜、铝、铅、锌、镍、锡、锑、汞、镁、钛被称为十种常用有色金属。有色金属是国民经济必不可少的基础材料和重要战略物资，广泛应用于航空、航天、汽车、机械制造、电力、通讯、建筑、家电等领域。据不完全统计，我国现有的 100 多个产业中，90% 以上的部门需要使用有色金属产品，约 75% 的非物质生产部门需要消耗有色金属冶炼或压延产品，在物质生产部门这一比例甚至攀升至 95%。

有色金属产业分为上游矿山、中游冶炼和下游加工三大部分，如图 1 所示。我国有色金属已形成集采选(包括采矿和选矿)→粗加工→精冶炼→加工→消费于一体的完整产业链。由于我国矿产自给率低、缺乏矿产资源的定价权，国内企业主要集中于冶炼和加工环节，而国际大型矿业公司更加侧重采选环节。



图 1. 有色金属行业产业链结构图

理清痛点 明确有色金属行业发展方向

近些年，随着国民经济的快速发展，我国有色金属行业实现了跨越式进步，生产工艺、装备水平、管理方式等实现显著提升，生产规模迈向新的台阶。但与发达国家相比，整体依然处于产业链分工的中低端环节。在市场需求回落、国外企业减产限产的大背景下，国内有色金属产业产能导向特征依然明显，矿山、冶炼、加工等重点环节痛点突出，转型需求迫切。

矿山环节：

贫矿多、深部开采难度大、劳动生产率下降等成为发展重要阻碍，粗放型增长模式亟待改变，远程控制和智能监测成为未来发展方向。国内有色金属矿山的发展长期面临着资源紧张、能源短缺和安全生产等多重压力，粗放型经济增长的模式没有发生根本转变。当前，国内贫矿多，富矿少，浅部易采矿床开采殆尽形势异常凸显，未来10年内将有三分之一以上的地下金属矿山开采深度达到或超过千米。深部开采方式下，矿床地质构造复杂、矿体赋存条件恶化、破碎岩体增多、地应力增大等难题频发，进而导致开采难度加大、劳动生产率下降以及开采成本急剧增加。因此迫切需要解决以下挑战与难题：一是开采动力灾害预测与防控；二是深井高温环境与热害控制及治理；三是非传统采矿方法研究；四是采矿机械远程遥控与自主运行。智能监测技术、精准控制技术与5G传输技术，作为支撑实现智能化、无人化矿山的关键技术，将成为未来解决深部开采难题的有效手段。

冶炼环节：

工艺流程长、生产环境高危、多工序协同困难、产品特性参数多、安全环保严格等成为发展痛点，电解设备在线监测与生产工艺参数优化成为发展方向。有色冶炼是一个接近完全竞争、市场化定价的行业，工艺、成本、能耗、安全成为企业争夺市场的主要发力点。在人口红利到期、资源无以为继等困局影响下，有色金属冶炼可持续发展面临着以下挑战与难题：一是矿源复杂，多元素共生、品质不一，导致生产波动剧烈；二是高危作业环境，高温高压、强酸强碱、高腐蚀性、空间密闭的作业场景，严重威胁作业人员身心健康，导致企业招工困难；三是冶炼方式多样，火法、湿法、电解法等多种工艺共存，且工序间呈强关联特性，协同控制难度增大；四是老旧设备众多，设备更新速度慢，管理维护严重滞后，功能性能难以满足生产需求。智能感知技术、数据采集技术、5G传输技术、协同控制技术以及大数据分析预测技术将成为支撑有色金属冶炼企业改造升级的关键技术。

加工环节：

产品品种多、订单批量小、生产工艺路线长、企业规模小、低水平企业重复建设等多重难题凸显，自动产线、智能制造与协同管理成为发展方向。当前，加工行业持续向好的基础并不稳固，部分领域投资“过热”现象严重，中小加工企业经营困难等问题突出，传统人工管理模式企业仍占据市场主体地位。整体来看，企业面临以下发展难题：一是产能过剩，我国是世界最大的有色金属生产国和消费国，近些年国内需求持续回落，而新增产能却不断释放；二是高端加工能力不足，企业科技创新和自主开发能力较弱，生产工艺流程中对技术人员的依赖较大；三是产业稳固性差、易波动，中小型企业作为加工产业重要组成部分，受全球经济及疫情等因素影响，生产经营风险急剧攀升，陷入生产生存困境。基于大数据、人工智能、5G、边缘计算、虚拟现实等前沿技术实现数字化汇聚、智能化产线、网络化共享和平台化协同成为有色金属加工企业的发展方向。

政策引领 加速有色金属行业智能化转型



图 2. 有色金属产业政策发布情况

我国高度重视有色金属产业发展，陆续发布多项政策文件进行系统推动，为行业转型升级、提质增效、创新发展提供全方位的支撑，绿色化、智能化、安全化发展成为行业发展方向，如图 2 所示。

绿色化转型服务国家战略。有色金属行业作为传统的高能耗、高污染行业，能源消耗及碳排放问题异常突出。据中国有色金属工业协会统计，2020 年我国十种有色金属产量首次突破 6000 万吨达到 6168 万吨，有色金属行业二氧化碳总排放量约 6.5 亿吨，占全国总排放量的 6.5%。其中，铝冶炼行业排放占比 77% 左右，铜铅锌等其他有色金属冶炼行业占比 9% 左右，铜铝压延加工行业占比 10% 左右。亟需通过绿色化转型，降低企业能源消耗和碳排放，实现资源优化配置和可持续发展。

智能化改造助力提质增效。国内大部分有色金属企业存在智能化基础薄弱、技术积累不足、跨界融合人才匮乏、智能制造标准覆盖程序低等问题，行业总体数字化水平与汽车、电子及航空航天等先进制造行业相比存在显著差距。根据对国内 39 家铝铜铅锌主要生产企业的调查显示，企业网络基础设施覆盖率小于 80%，关键工序先进控制不足 20%，智能装备使用率低于 35%，MES 部署率小于 50%，亟需通过数字化、智能化改造，实现企业转型。

安全化升级坚守生产红线。在开采、冶炼和加工过程中，容易产生大量的废水、废气、废渣，一旦操作不当，极易引发爆炸、中毒、高空坠落等安全责任事故。据不完全统计，仅 2022 年 4 月，国内有色金属行业发生较大生产安全事故 2 起，共造成 7 人死亡，1 人受伤。为积极应对企业经济效益与安全生产之间的矛盾，亟需利用最新的 ICT 技术，加强智能感知与监测，实现全流程安全管控，提升安全保障与规模生产能力。

5G 成为有色金属行业 转型的技术引擎



5G 构建有色金属行业转型基础

“十四五”期间，深化供给侧结构性改革成为有色金属行业发展的主旋律，其中有色金属产业结构、用能结构明显优化，低碳工艺研发应用取得重要进展，基本实现有色金属行业绿色低碳、智能高效和安全生产。在此背景下，以 5G 代表的新型 ICT 技术将成为有色金属行业转型发展的重要引擎。5G 技术是 4G 技术的扩展与延伸，实现了人与人的互联向人与人、人与物、物与物的“万物互联”的完美过渡，可支撑百万级的规模接入与毫秒级的时延响应，满足有色金属行业转型需求。

5G 夯实智能化转型技术基础。一方面，5G 具有高流量密度覆盖、可保障的 SLA、高安全保障等多重优势，为承载多类业务提供可能；另一方面，5G 网络具有高可靠优势，通过设备级、网元级、链路级、网络级的可靠性增强，可实现全网 99.99% 可靠传输。此外，5G 网络具有优异的无线传输性能，满足有色金属行业对大带宽、低时延的性能要求。5G 通过对人、机、物的全面互联，构建起全要素、全产业链、全价值链的新型生产制造服务体系，助力有色金属行业绿色化、智能化和安全化转型。

5G 推动节能降耗，实现绿色发展。5G 自身能耗方面，通过运用 GaN 氮化镓等新型器件、基于话务的 AI 智能节电技术等，降低设备能耗 30% 以上。赋能业务方面，利用 5G 广连接的特性实现高温、高湿、高污染等恶劣环境下超高密度终端接。通过机器换人，实现电解槽、炉窑、反射炉等核心生产设备运行状态在线监控、工艺参数实时分析调整以及出入料动态调度，有效提升工艺水平、延长设备工作时长，避免因漏槽、漏液、参数错配等问题造成不必要的能源浪费，提升能源资源利用率。

5G 驱动网络升级，实现智能转型。5G 网络架构方面，通过结合人工智能、大数据、边缘计算等新型 ICT 技术，实现数据本地分流和算力转移，为企业智能化转型提供充足的传输资源与算力资源。赋能业务方面，5G 依托高带宽、低时延、大容量、高可靠等特性，构建新型信息化基础设施，解决传统无线、有线技术因性能不稳定或布线困难导致应用场景受限难题。同时，通过支持智能设备、制造系统、生产系统以及多车间、多企业之间网络互联，打破企业原有“烟囱式”信息化格局，助力企业从单点智能向全方位智能升级。

5G 支撑多维保障，实现安全生产。5G 网络安全方面，5G 行业虚拟专网本身具备纵深防御的安全能力，附加采用双向接入认证、ACL 访问控制等手段策略，可提供全方位安全防护能力。赋能业务方面，5G 低时延、高可靠特性支撑实现部分生产、调度、决策过程的自主化和无人化，改善工作人员作业环境。同时，融合人工智能、大数据、高精度定位等技术，实现设备异常数据、人员位置信息、环境污染物等数据的立体监控与危险预警，支撑打造安全生产运营环境。

5G 构筑有色金属行业转型框架

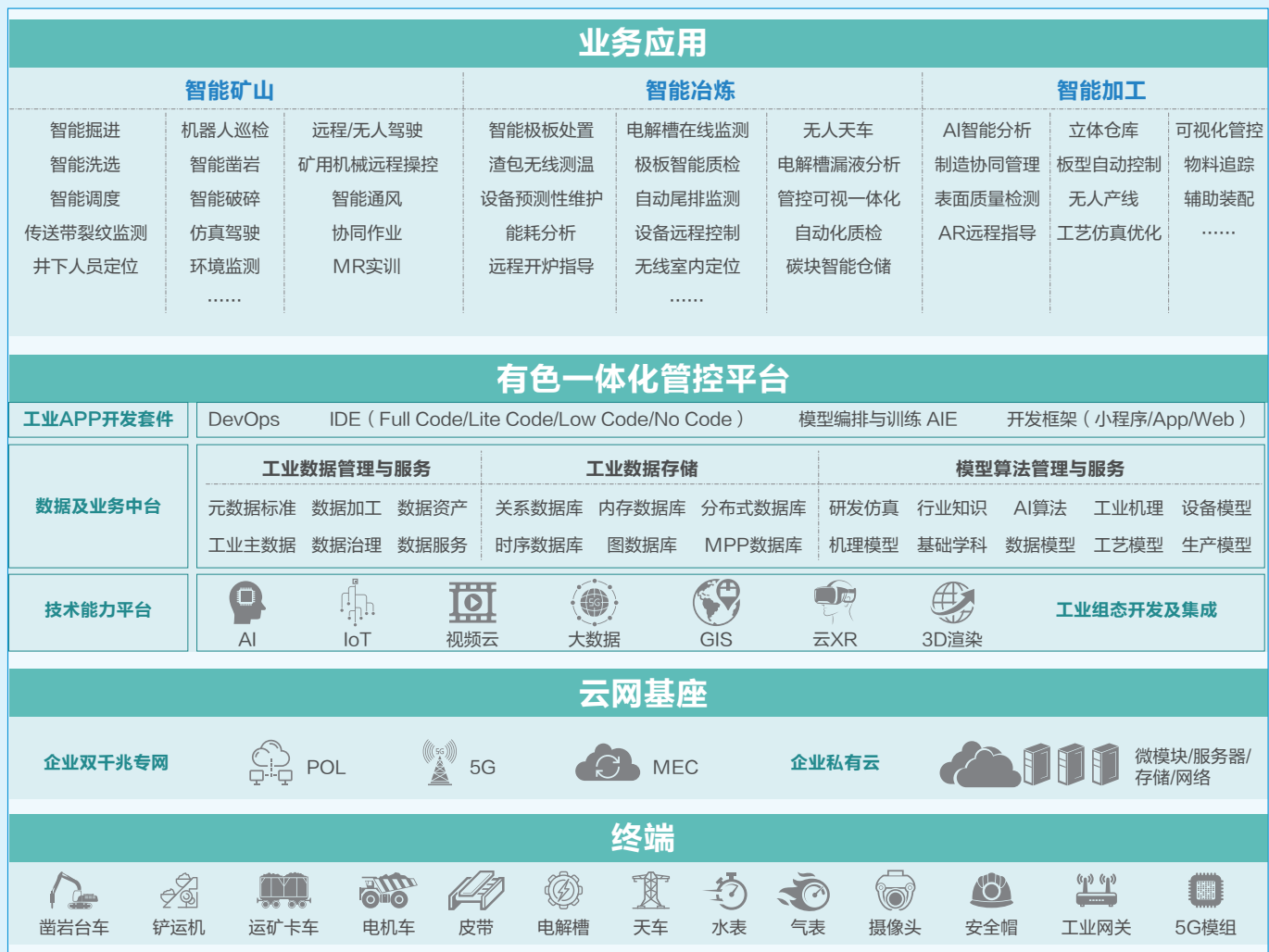


图 3. 有色金属行业智能化技术框架

统筹考虑有色金属行业的发展现状、发展痛点和产业政策，构建有色金属行业“1+1+3+N”的智能化技术框架，即基于“1”张5G专网和“1”个有色一体化管控平台，为有色金属产业链的“3”个环节提供“N”个智慧应用。框架以设备连接为基础，以管控平台为核心，以智能应用为关键，实现操控远程化、生产智能化、管理信息化以及决策科学化等发展目标，助力有色金属行业转型升级。

云网筑基——“1”张有色金属专网，根据有色金属行业的特殊性，利用5G切片技术，用一张5G行业虚拟专网，打造适配有色金属行业需求的差异化、定制化精准云网。通过提供大带宽、高可靠、低时延的通信管道，打通企业IT域和OT域，使所有智能装备可通过5G和全光有线网络融合接入，以实现全生产流程的数据拉通。

数据聚合——“1”个有色一体化管控平台，提供“积木式”的功能组件，搭建一套满足有色金属行业需求的一体化管控平台。该平台实现数据的采集汇聚、存储治理以及基础应用能力提供，打破企业“信息孤岛”，消除“数据烟囱”，将生产控制系统、管理运行系统全部打通，以实现数据的汇聚和协同。

完整覆盖——“3”个细分环节，有色金属产业链上下游的各细分环节在信息化层面的需求基本一致，但在上层工艺流程和生产装备层面则相差甚远。基于共同的云网底座，在行业应用方面进行细分梳理，可实现行业业务按需适配，以全面满足发展需求。

数智赋能——“N”项 5G 智能应用，利用机器学习、大数据和人工智能等新型 ICT 技术，实现生产装备的全连接以及生产要素的全采集，已成为企业优化工艺参数，辅助生产科学决策的重要支撑。充分发挥海量数据价值，构建产业各环节智能化应用，有助于有色金属行业全流程智能化应用落地，以实现降本增效与可持续发展。

5G 有色金属行业应用成效初显

有色金属行业是 5G 融合探索先导行业，其发展速度、落地规模等均处于行业前列。据第五届“绽放杯”5G 应用征集大赛统计数据显示，有色金属行业参赛项目数量达到 289 个，覆盖矿山、冶炼、加工全产业链环节，其中采矿项目最多，高达 154 个，环节占比超 50%。现阶段，“绽放杯”获奖项目已成为行业发展的示范标杆，如第四届标杆赛金奖“云南神火铝业 5G 边缘云有色金属智慧工厂应用”、全国赛三等奖“中铝 5G+OnePark 智慧工业园区应用”等。

现如今，5G 已渗透到有色金属行业的生产制造、生产管理、运营管理及协同创新各层面，覆盖 60 类应用场景，其中 25 类应用场景较为成熟。

协同创新	供应链协同	订单协同	供应商关系管理优化	服务创新	大规模个性化定制	集成管控一体化	③ 智能服务 与创新					
		库存协同	客户关系管理优化		远程服务	大数据分析处理						
运营管理	计划管理	订单管理	物料管理	仓储管理	经营决策	管理驾驶舱	② 智能管理					
								智能排产计划模型	管理系统全生命周期追踪	物流调度	无人化计量	风险预判
								设备管理	能源管理	质量管理	安全管理	环保管理
生产管理	设备状态监测	能耗统计	产品质量监测	安全风险预警	污染物监测	环境风险监测	① 智能生产					
								预测性维护	能耗分析预测	质量分析	安全管理系统	环境质量分析
								设备故障诊断	动态耗能监测	质量预测	安全问题溯源	环境风险监测
工艺流程	矿山环节		冶炼环节		加工环节		① 智能生产					
	智能采矿（剥）	破碎筛分智能化	能耗管理	电解槽漏液分析	轧机动能环境监测与分析	无人起重机						
	运输无人驾驶	磨矿分级智能化	远程开炉指导	电解槽电压监测	无人天车	无人化生产						
	固定设施无人值守	选别过程智能化	自动化质检	剥片机组系统	智能调度	智能调度						
	智能充填	浓缩脱水智能化	无人天车	工艺参数优化	产品质量模型	产线智能化控制						

图 4. 有色金属行业创新应用场景总视图

有色金属行业 关键环节 5G 融合应用场景

有色金属产业链可分为矿山、冶炼、加工三大重点环节，不同环节间典型场景、工艺流程等存在显著差异，本小节将基于各行业不同环节发展现状及特点对 5G 融合应用场景发展情况进行详细阐述。



有色金属矿山 5G 应用

有色金属矿山根据开采作业流程可大致分为采矿(落矿-出矿-运输-提升)-选矿(破碎-球磨-浮选-浓密-脱水)-尾矿处理(充填-排放)三大环节。我国有色金属矿山具有开采环境复杂、安全环保管理压力大、多元素资源共生等特点。如何实现少人甚至无人化作业、实时协同生产优化以及精细化管控的有色金属智能矿山成为行业转型发展的当务之急。

现阶段，5G 技术多应用于矿山开采单工序场景，涉及 35 类应用场景。其中有轨运输无人驾驶、井下安全避险系统、采掘装备远程遥控等相关场景已在国内多个矿山实现落地。生产工艺参数优化、协同作业、选矿全流程优化控制、数字孪生系统、虚拟培训等协同融合应用仍待进一步成熟。

采矿		选矿	尾矿处理	
采掘装备远程遥控	地压监测系统	破碎筛分优化控制	尾矿库智能巡检	
有轨运输无人驾驶	井筒安全监测系统	磨矿分级优化控制	尾矿库监测系统	
无轨运输无人驾驶及智能调度	井下安全避险六大系统	浮选过程优化控制	排土场监测系统	
充填系统智能控制	放炮监测系统	浓缩脱水优化控制	尾砂输送无人值守	
矿井通风智能监控	地表沉降监测系统		智能充填	
井下排水智能控制	压风智能控制			
生产工艺参数优化	给排水平衡控制系统	协同作业	数字孪生	环境监测
设备运行状态监测	供配电智能控制系统	智能化立体库房	能耗分析	MR 实训
厂/矿区人员定位	智能物流引导系统	无人值守磅房	机器人巡检	

5G 待挖掘应用场景
 5G 成熟应用场景

图 5. 有色矿山环节 5G 应用总视图

场景一：露天矿卡无人驾驶及智能调度

露天矿多采用大型挖掘机、自卸矿卡进行采矿作业，司机作业环境差、劳动强度大、极易出现疲劳驾驶。同时，由于采矿作业范围广、地点移动变化大、设备状态变化快、作业调度难度大，传统对讲及现场人工调度方式很难及时、全面、准确掌握现场作业条件变化。

5G 露天矿卡无人驾驶及智能调度系统包括智能调度与监管系统、无人运输仿真系统、矿用宽体自卸车无人驾驶系统、协同装载 / 卸载管理系统、应急接管系统以及网络传输与定位系统等。终端采集的数据信息通过 5G 网关接入无线网络，再本地分流到 MEC 边缘计算平台，实现数据不出场区，保证业务的安全。

无人驾驶具有工作效率高、人力成本低、安全性高、运输管理便捷等多重优势。该场景的应用将有利于防范生产安全风险，减少现场作业人员数量，实现“少人则安、无人则安”的转型目标。同时，该场景的推广将有效减少因人为操作不当造成的设备损耗，解决运输岗位“老龄化”、“招工难”问题。

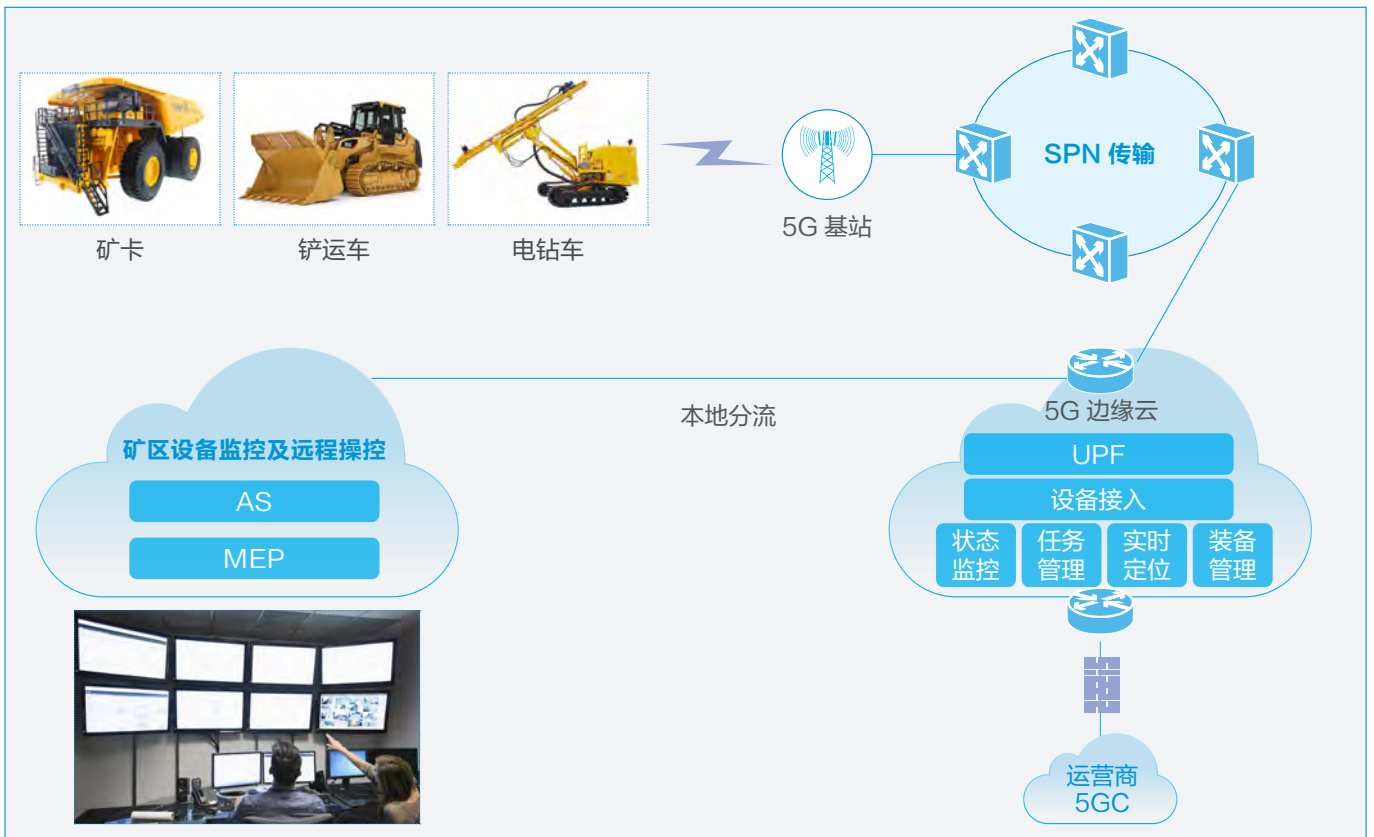


图 6. 无人驾驶及智能调度实现架构图

场景二：井下采掘装备远程控制

常见采掘装备包括凿岩台车、装药台车、锚杆台车、喷砂台车、撬毛台车、破碎机器人、铲运机等。传统方式下，采掘作业劳动强度较大、作业环境差、操作人员上下井时间长，“无效”工时过多。

5G 采掘装备远程控制通过在每台装备安装 4K 高清本安摄像机，实现前方、侧方、后方等全方位的高清监控。摄像机采集的视频信息通过 5G 网关上传至 MEC 服务器，初步边缘计算处理后传输至地面集控中心。操控中心依托 5G 网络下发控制指令，实现采掘装备的远程操控，提高设备作业安全系数和劳动生产率。

5G 采掘装备远程遥控系统具备现场无人化、地表远程操控作业能力，一个操作台可接入多台终端装备，通过分时选择操作，减少恶劣环境下操作岗位人员，降低井下安全事故风险。此外，远程遥控系统可大幅提升作业连续性、作业效率及作业安全性，符合国家“机械化换人、自动化减人”发展目标。



图 7. 采掘装备远程控制架构图

场景三：井下有轨机车无人驾驶

有轨机车是井下矿（废）石转运的重要工具，其作业特点一般为运输距离长，员工长时间操作容易疲劳驾驶，且井下劳动强度大、工作环境恶劣，罹患职业病风险高。

5G 井下有轨机车无人驾驶系统一般由八个主系统及多个辅助系统组成，主系统包括主控系统、上位机系统、工业网络系统、车载控制系统、道岔控制系统等。利用 5G 通信网络、视频监控联动控制及远程操控中心实现井下有轨机车在高速通信模式下的无人驾驶及自动卸载。通过将以往的本地放矿装载升级为远程放矿装载，并基于运输任务与智能调度实现道岔、信号灯自动控制，全面提升系统的稳定性、可靠性。

5G 井下有轨机车无人驾驶解放了从事井下作业的机车司机、放矿工、扳道工等传统作业人员，全部由地表集控室操作员统一代替，达到岗位人员的“三合一”，提升效率超过 25%，有效改善职工劳动环境、提升一线安全水平，延长设备运行时间。

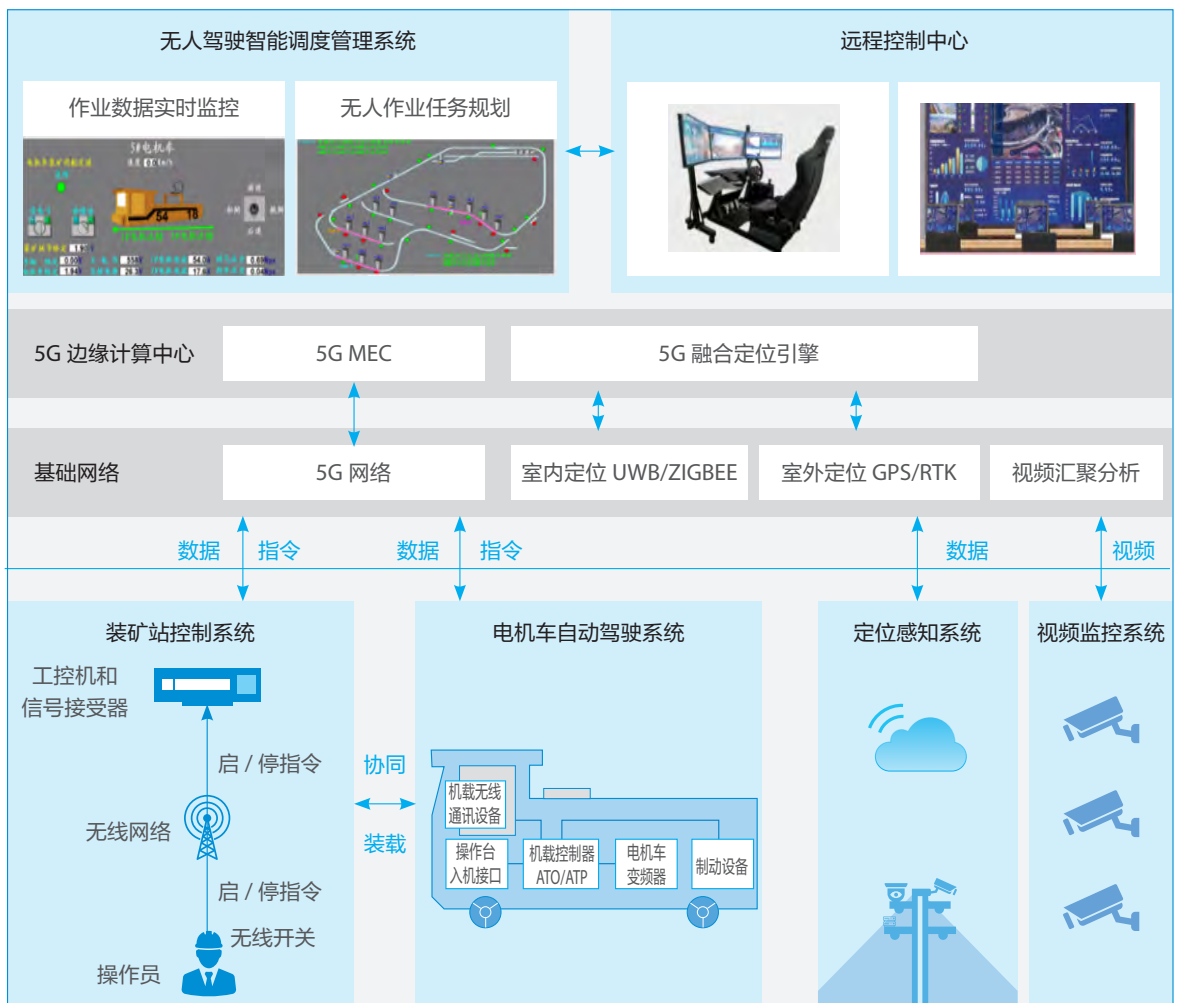


图 8. 电机车无人驾驶系统

场景四：井下配电所机器人巡检

矿山井下业务大部分依靠电力进行供电，但高压配电房大部分位于矿井中。传统模式下，主要依赖人工定期巡检方式，作业危险度高，存在漏检误检风险，容易发生触电事故。

巡检机器人采集到的高清画面及环境数据通过 5G 网络实时回传至后端平台进行分析处理，并对井下大巷等安全隐患进行告警。巡检机器人通过搭载高清摄像机及红外热成像仪，实现配电房实时监测控制与红外热成像诊断。同时，配合井下精准定位技术，巡检机器人位置以及巷道环境信息也能实时上传至监控中心。监控中心则通过 5G 网络将巡检频次、时长、路径、位置等控制信息下发至机器人终端。

5G 机器人巡检系统可实现 7*24 小时智能巡查，支持烟雾、火点、温度等异常环境信息自动预警，降低人工间断性巡检带来的安全风险。

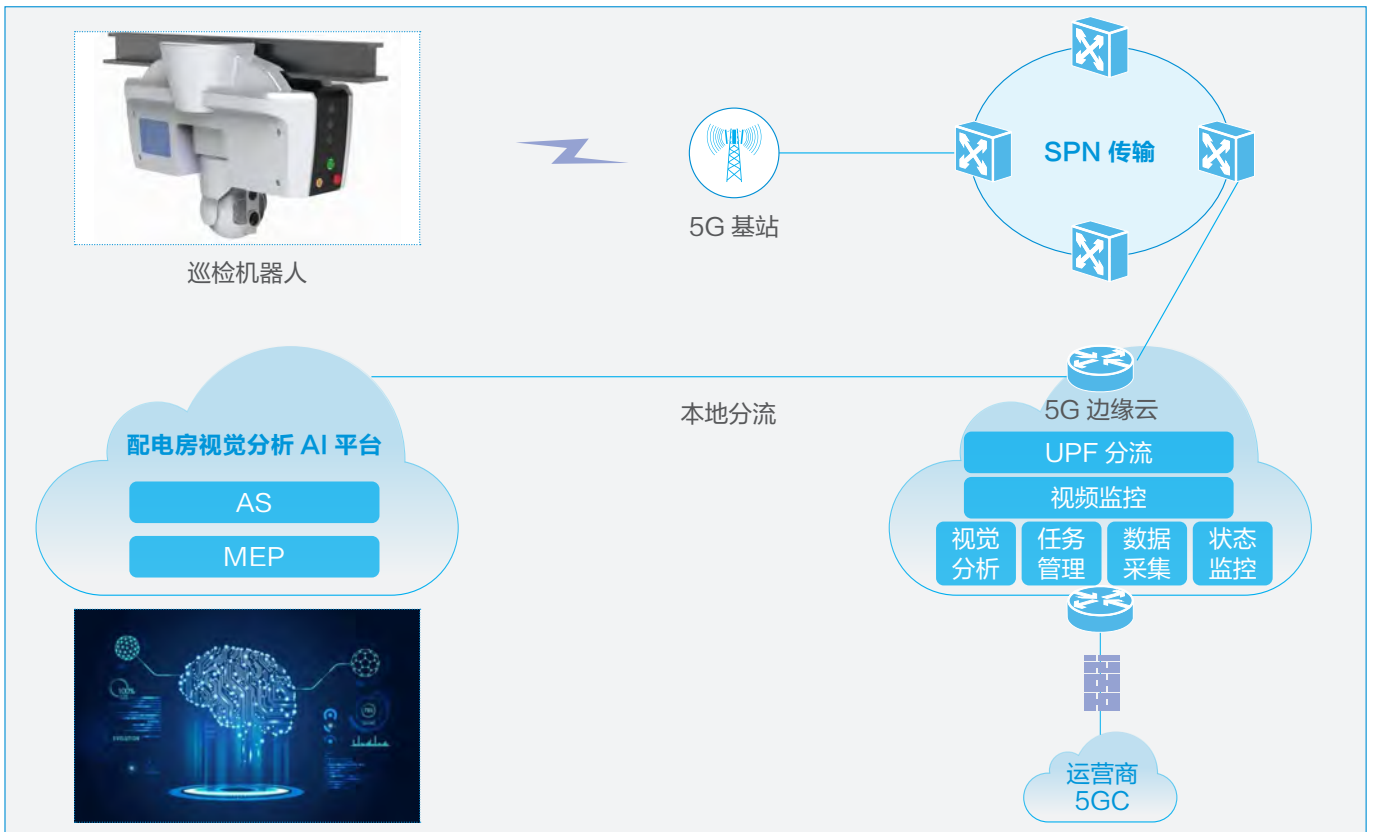


图 9. 智能巡检方案

场景五：安全监测及风险预警

当前，有色金属地下矿虽然建立了井下“安全避险六大系统”，但位置信息不精准、采场定位精度差、监测数据有延迟等现象依旧频发。5G+ 安全监测及风险预警平台基于 5G 网络传输和定位优势可实现危险预测预警和实时处置，当超出安全阈值时，系统自主进行智能判断并执行预定义联动响应，降低安全事故率。

5G+ 安全监测及风险预警平台包含人员定位、监测监控和通讯三大子平台，其中人员定位子平台接入各类定位数据，支持实时位置、历史轨迹、热点分析、电子围栏等功能扩展，以实现管理区内人员行动轨迹的全方位追踪。监测监控子平台通过工业 5G 网关与传感器连接，将传感器数据利用 5G 网络传输至服务器，以实现温湿度、二氧化碳、硫化氢、视频监控等数据的实时采集与传输。通讯子平台利用 5G 网络的低延时、大带宽特性，保障矿区井下视频通话的清晰流畅，支撑实现井下井上协同运维。

借助 5G+ 安全监测及风险预警平台可实现风险管控关口前移、隐患排查治理、安全决策分析、风险动态预警以及干预过程可追溯，最大限度减少作业风险发生，确保矿山开采的安全生产。

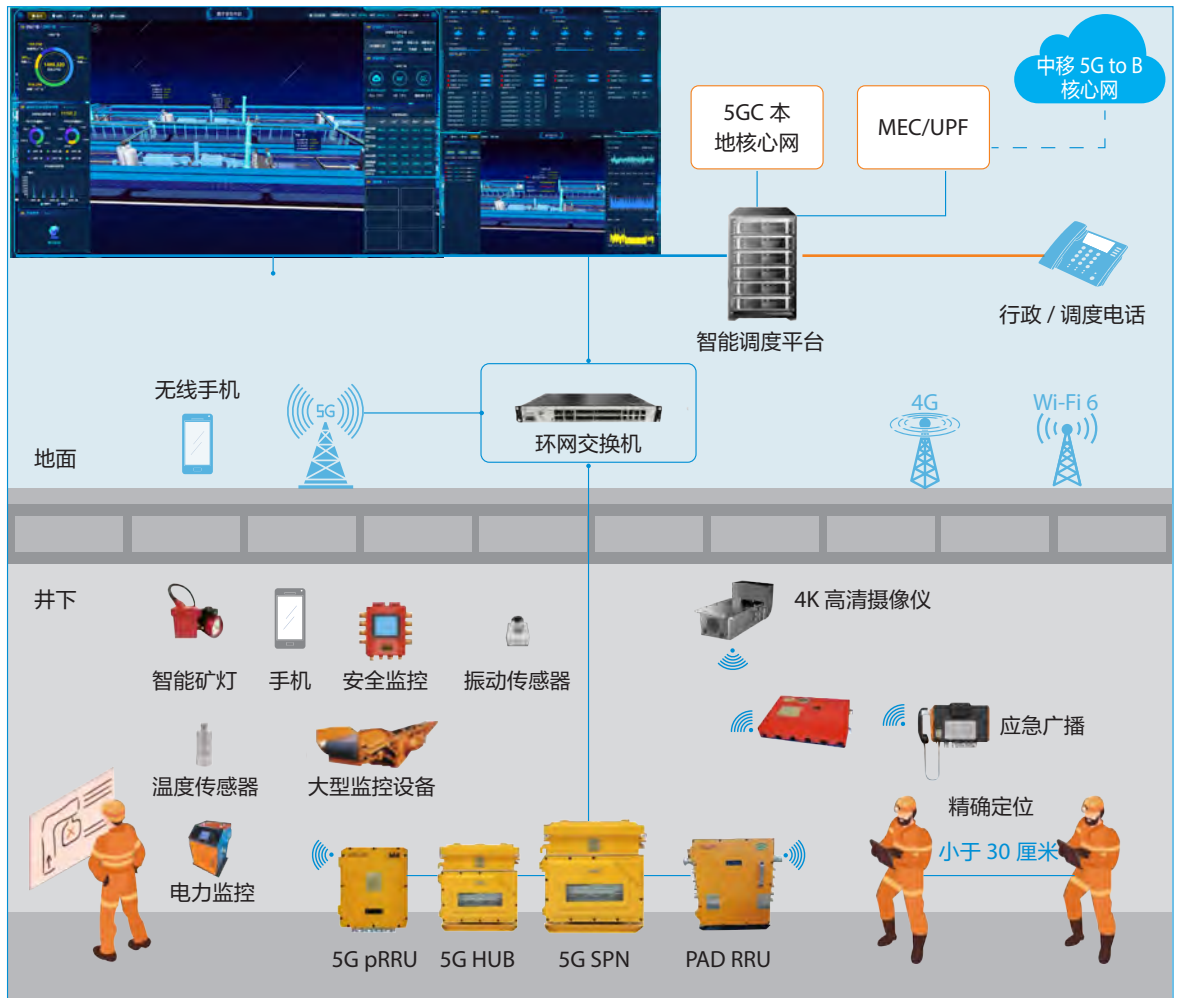


图 10. 安全监测及风险预警平台

典型案例一：地下铜矿山 5G 应用

案例背景

井工矿环境随爆破及采掘活动发生变化，装备作业地点、运行位置、行驶路径也会阶段性发生较大变化。国内某大型地下铜矿山属于标准的井工矿，其行业信息化系统建设水平位居市场前列，但在发展过程中仍面临着以下问题：一是各专业子系统间相互隔离、数据不流通，无法基于数据融合形成智能化管理决策与安全生产；二是当前网络结构复杂，不同网络系统间相互独立，且须满足不同级别性能保障需求，管理异常复杂，无法在集团旗下其他矿山进行复制推广。

案例及成效

此铜矿山企业利用 5G 改造了原有的井下电机系统、矿卡及调度系统，先后落地了 5G 井下电机车远控、5G 远程矿卡以及 5G 智能调度等应用场景。

——**5G 井下电机车远控应用**：放矿工、电机车司机等工作位置由溜井转移至地面，同时实现多工种合并，最大限度减少操作人员，提高本质安全水平、减少职业病的发生。

——**5G 远程矿卡应用**：工作人员坐在远程驾驶舱依托 5G 接收现场图像及数据信息，并通过遥控手柄、按键、座椅等实

现设备远程操控，摆脱粉尘、尾气、噪声等恶劣作业环境，提升工作舒适度。

——**5G 智能调度系统**：通过 5G 完成对采掘装备、运输设备等常规装备设备的实时监控和优化调度，解决矿山车辆运输调度混乱和效率低下问题。

应用成效：一是提升作业安全性，实现冒顶、偏帮和雨季突泥风险条件下 0 人员下井；二是增加连续作业时长，通过远程操控保障不间断作业，实现爆破期间不停工，雨季不停工，较改造前效能提升 32% 以上。

典型案例二：铅锌企业 5G 应用

案例背景

与煤矿不同，有色矿山岩石硬度、限制条件更为复杂苛刻，开采难度更大。国内某大型企业专注于有色金属开采、冶炼，随着矿产资源整改，旗下矿山在转型过程中面临以下痛点：一是开采方式落后，传统气推式凿岩开采方式，主要依靠人工在作业面挖孔、放置炸药，存在爆破定位不准确、安全隐患高等问题；二是人工依赖度高，电力巡检、环境监测、设备状态监测等需要人工定期下井完成，存在效率低、误差大、安全风险高等问题。

案例及成效

此铅锌企业先后落地了智能掘进、配电房机器人巡检、井下环境监测预警等多项 5G 应用。

——**5G 智能掘进**：通过在井下部署 5G+ 智能掘进辅助系统，实现掘进工作面就地远程可视化操作，减少井下安全事故率，提升安全生产水平，创新中小型有色金属矿脉开采方式。

——**5G 配电房机器人巡检**：搭载高清摄像机及红外热成像仪的巡检机器人将采集到的高清画面及环境数据通过 5G 网络实时回传至后端平台进行分析处理，实现实时监测控制与红外热成像诊断。配电机房巡检人员从 5 人次 / 日降低为 1 人次 / 日，节省人力成本约 80 万。

——**5G 井下环境监测预警**：井下高清摄像机视频数据、环境监测数据等信息通

过 5G 网络传输至平台，经过平台实时处理分析，对异常事件进行探测告警，如塌方、人员行为异常、设备运行异常、危险地带电子围栏等，提升井下风险研判及防范水平，降低安全事故发生率。

应用成效：一是通过对井下智能开采掘进设备进行改装，使其具备井下 5G 远控开采能力，减少掘进面作业人员 8 人，每年可节省约 160 万成本；二是通过井下数字信息化监测预警，实现网络、设备、人员、环境等信息的全方位监测监控及危险预警，减少日常网络巡检维护人员 4 人，每年节约成本 80 万，提升检测效率 100%。

有色金属冶炼 5G 应用

有色冶炼通常指通过熔炼、精练、电解或其他方式从有色金属矿、废杂金属料等有色金属原料中提炼金属的生产活动。我国有色金属冶炼具有原料品质波动大、工艺建模难、多元素资源共生、冶炼工艺复杂、作业环境恶劣以及能源管理粗放等特点。如何提高资源利用率，实现生产精准管理、闭环自动控制以及生产智能化成为行业转型发展的当务之急。

现阶段，5G 覆盖冶炼环节生产运行、管理监测全流程，涉及 33 类应用场景。其中，部分生产环节实现关键突破，如电解槽在线监测、电解槽漏液分析、智能极板处置、自动化配重机器人等。管理及检验监测类普适性较强的业务应用占据主体地位，如远程开炉指导、能耗管理、环境监测、机器人巡检、无人天车等。始极片拨片机组、电解液配比分析、电解优化、多炉协同作业、管控一体化等行业属性显著类业务尚处于前期摸索阶段。



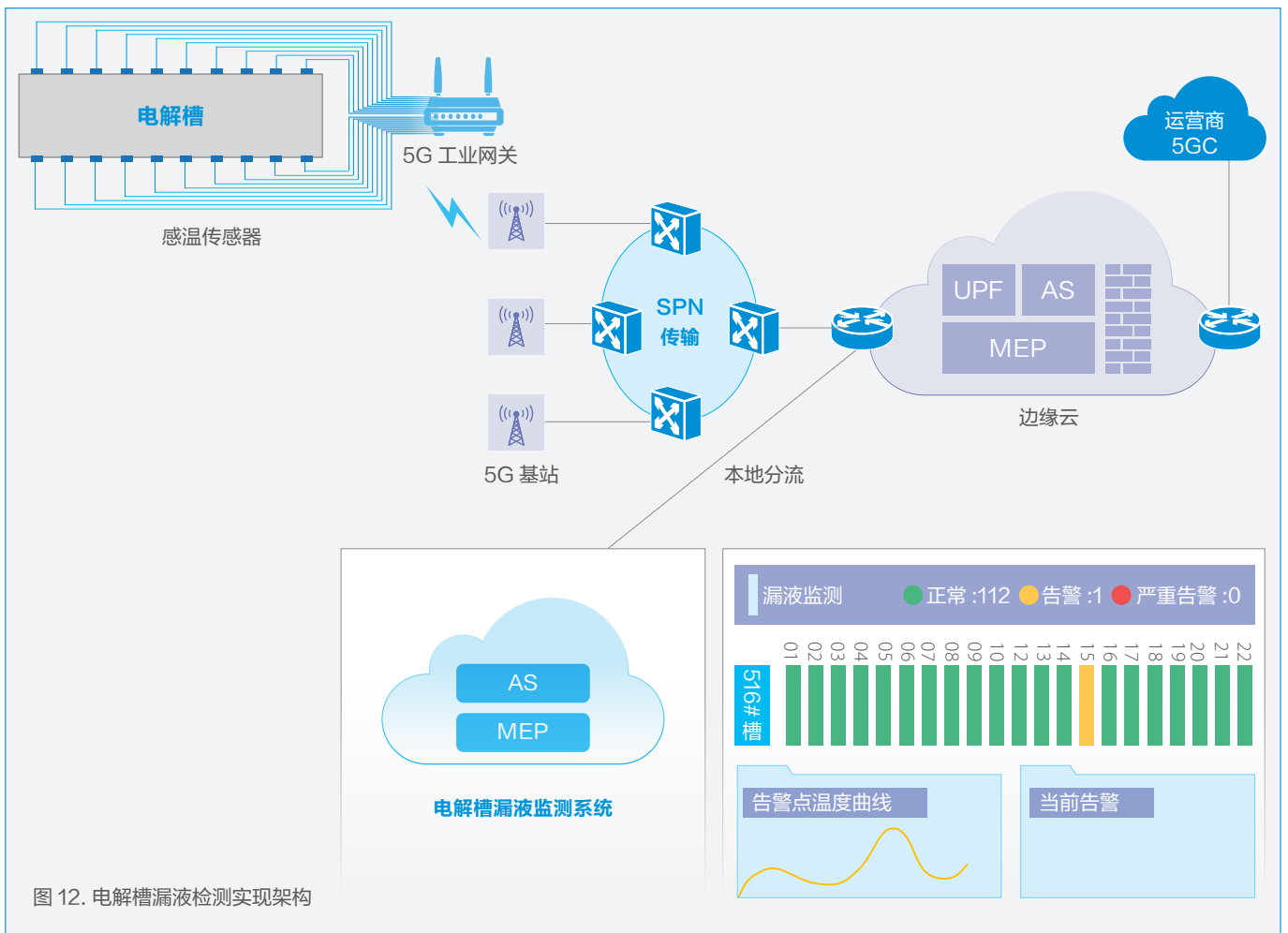
图 11. 有色冶炼环节 5G 应用总视图

场景一：铝电解槽漏液分析

电解槽是电解铝生产过程最重要的生产装备，一旦出现漏槽、侧壁烧穿等问题，轻则引起火灾，重则引发爆炸，带来重大经济损失。因此，对电解槽阴极钢棒或槽壳进行温度监测是电解安全生产运行的必要环节。常规模式下，主要依靠每个班组派专业人员下到电解槽底部，使用红外测温仪进行逐点测温，存在着占用人力多、测温点覆盖面不足、测温数据反馈迟滞、巡检人员易受伤等系列问题。

利用 5G 结合电耦合测温或光纤应变测温等技术手段，完成恶劣环境下超高密度终端传感器的接入，可实现 0℃ 到 1000℃ 高温危险区域的在线监测，替代人工巡检。通过及时感知电解槽温度，将采集的数据依托 5G 网络回传到一体化管控平台，辅以人工智能和大数据分析技术，可实现温度曲线实时绘制和电解槽温度异常快速预判。一旦发现异常，则立即发出电解槽漏液预警信号。

5G+ 电解槽漏液分析技术有效解决电解铝生产过程中高数量、高密度且分布不规则的测温点数据采集难题，减少生产安全事故。



场景二：锌电解槽在线监测

在锌电解过程中，电极间容易出现短路现象，短路之后会导致极板间温度异常升高，但没有金属析出，造成生产资源和电力资源双重浪费，严重时甚至可能引发安全事故。电解厂通常采取人工手持红外测温枪的方式对锌电解槽进行表面温度测量。现场操作工人需要进入槽面上方，以检测阴阳极板是否出现电流分布过大、局部磁场过强、异常温度升高等现象。过高的工作强度和强腐蚀的工作环境极易引发巡检工人健康问题与测温设备高损坏问题，进而导致劳动生产率降低和单位电耗增多。

基于红外成像和图像定位技术，实时采集极板和电解液的温度，并通过 5G 实时回传到有色一体化管控平台，利用大数据和人工智能技术进行综合分析，及时发现异常高温的极板位置，并发出声光告警。

5G 锌电解槽在线检测系统，可以及时发现温度异常极板，避免极板短路和能源浪费，从而延长极板的使用寿命，确保电解锌生产的效率，实现减人增效。

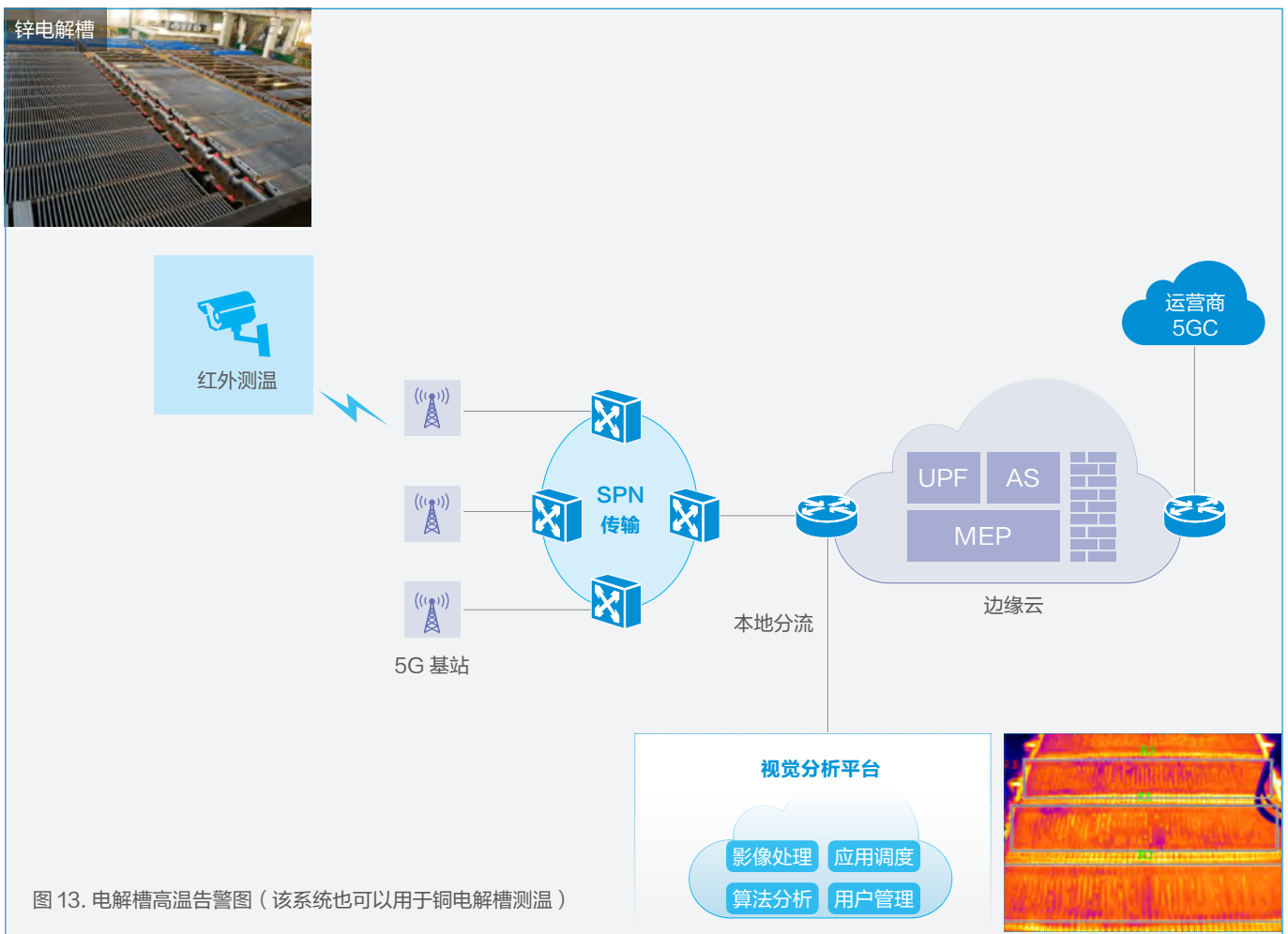


图 13. 电解槽高温告警图（该系统也可以用于铜电解槽测温）

场景三：无人天车

电解工厂各车间的物流运输升级是实现智能制造的重要环节，企业通过天车将各类生产物料在电解车间、阳极组装车间、铸造车间内进行传送。当前，绝大部分生产车间采用现场人工操作模式，操控天车搬运物料或者半成品，工作环境恶劣、操作时间长、劳动强度大、搬运效率低。由于工人靠自己的主观感觉操作天车完成重复性动作，每次操作的速度和位置无法保持一致，天车相应的动作状况也不一致，极易出现安全事故。

天车车身及周围墙壁上安装高清摄像机，PLC 控制信号以及视频信号依托 5G 低时延能力实时回传至远端操控室。操控室基于现场视频信息进行分析，并将路径规划指令通过 5G 网络发送给 PLC 控制器，以完成无人天车的远程监控以及远程接管。

5G+ 无人天车可以减少现场操控天车驾驶员，改善天车操作工的工作环境，减少天车驾驶员 12 人，提高天车作业效率 30%，消除生产现场的安全风险，实现工作效率与安全保障的双提升。

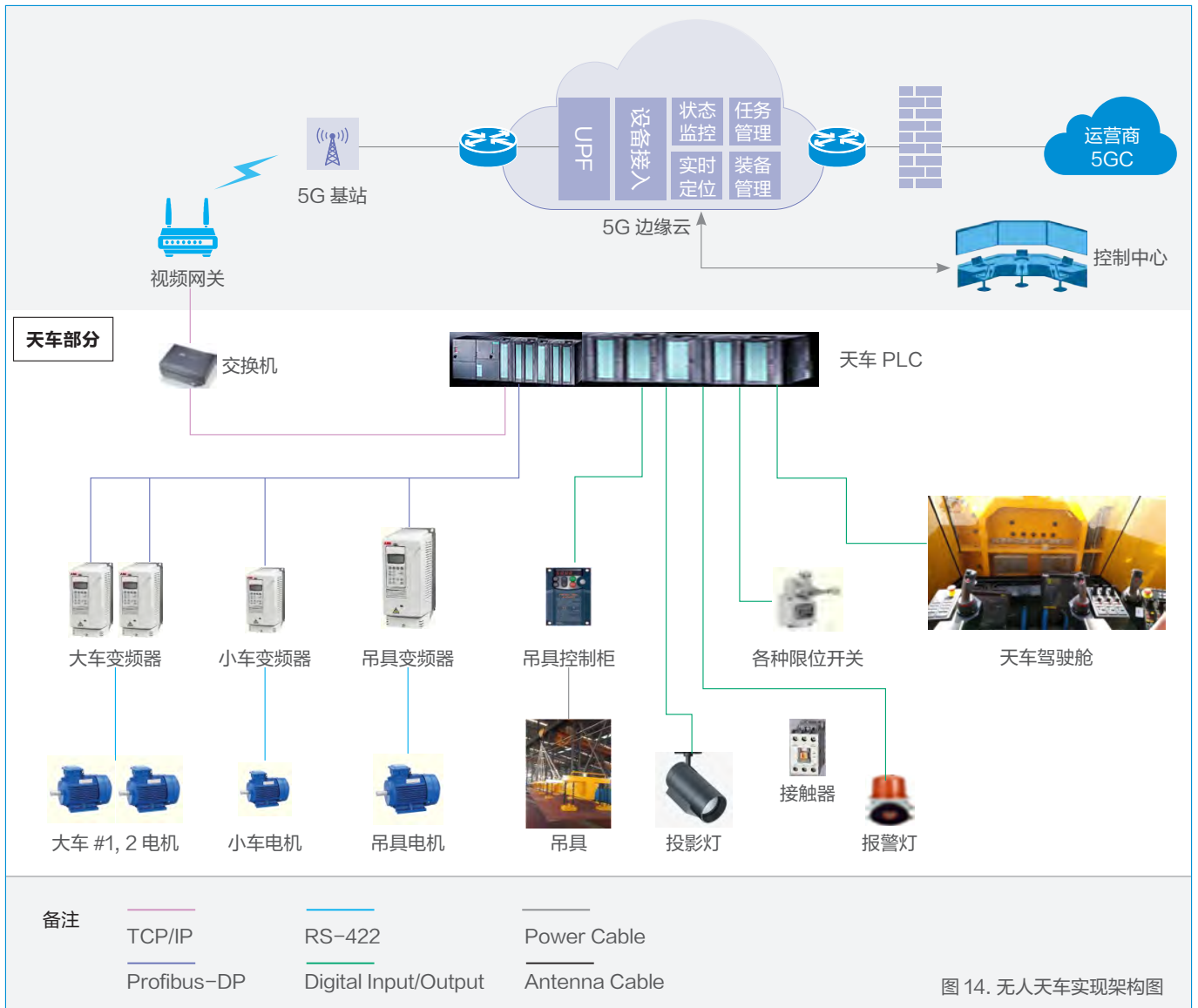


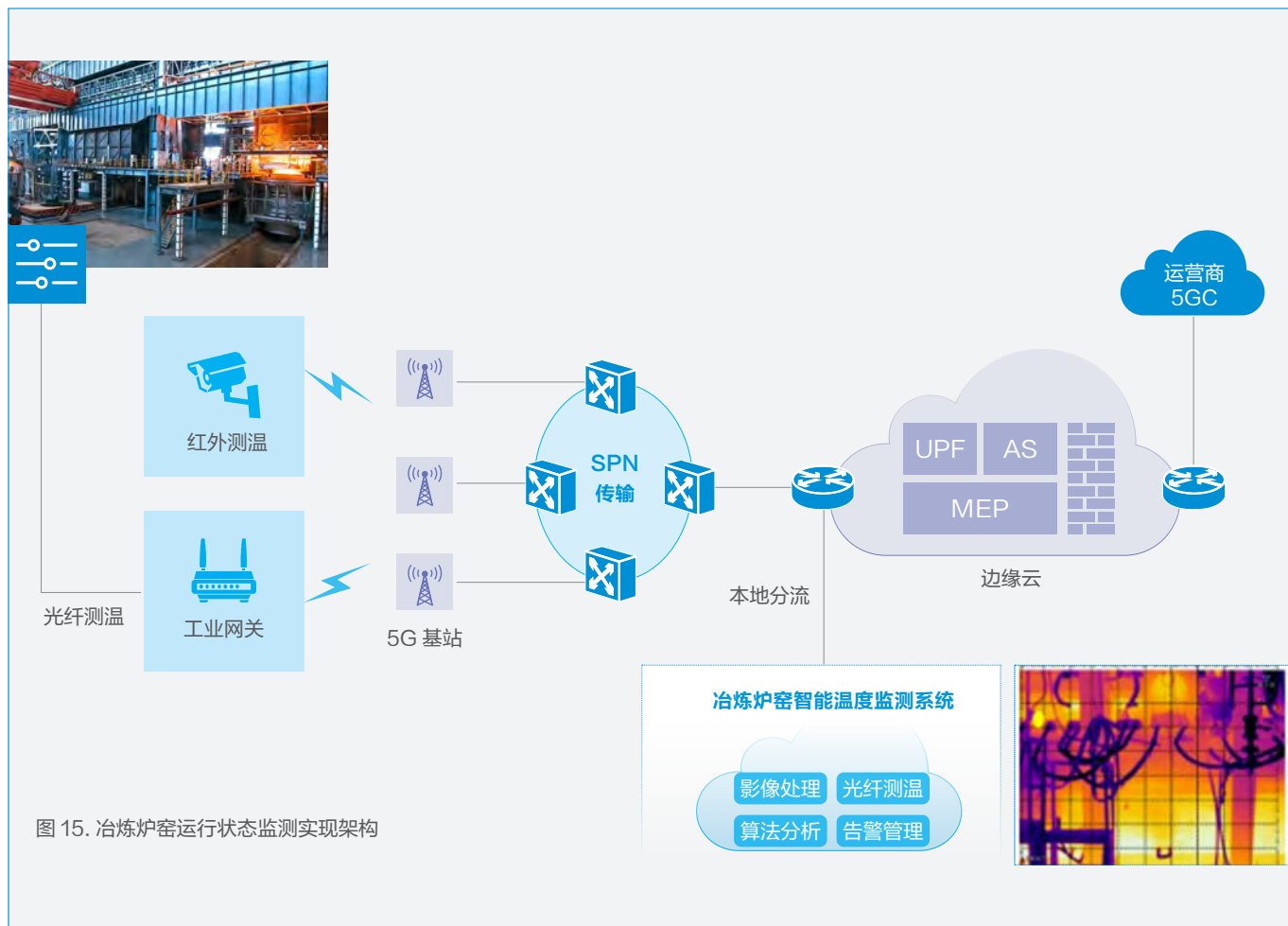
图 14. 无人天车实现架构图

场景四：设备运行状态监测—炉窑

炉窑是有色金属冶炼的重要设备之一，其工作状态参数直接影响冶炼的质量和速度。传统方式下，使用检尺测量炉窑沉淀池渣面。检尺长度为熔炼炉拱底中心至检尺平台高度，每次测量时检尺通过人工卷扬放入炉内熔体底部。为掌握沉淀池渣的具体高度，工作人员需根据物料反应情况每隔 30 分钟至 2 个小时测量一次，生产参数根据测量结果进行相应调整。由于检尺所在位置为沉淀池正上方，该区域温度较高、粉尘较大、且存在有害烟气等介质，频繁操作不仅增加岗位的劳动强度，更不利于员工身体健康。

采用红外测温仪对冶炼炉窑四周进行红外测温，无法测温的部分区域可使用光纤测温终端对个别关键点进行光纤测温，然后通过 5G 网络将检测到数据上传到后端冶炼炉窑智能温度监测系统中，系统对上传的数据进行分析处理保存，并在大屏上进行可视化呈现。基于红外摄像头的视频以及普通可视视频可在大屏上划分成可调整大小的网格进行温度呈现，每个网格内检测到的最大温度值作为该网格范围的温度。一旦发现温度超过设定阈值，系统自动发出告警提醒中控室人员。

设备运行状态监测系统提高检测精度，提升设备维护效率，保障员工工作安全性，减少现场巡检人员的数量，实现减员增效。

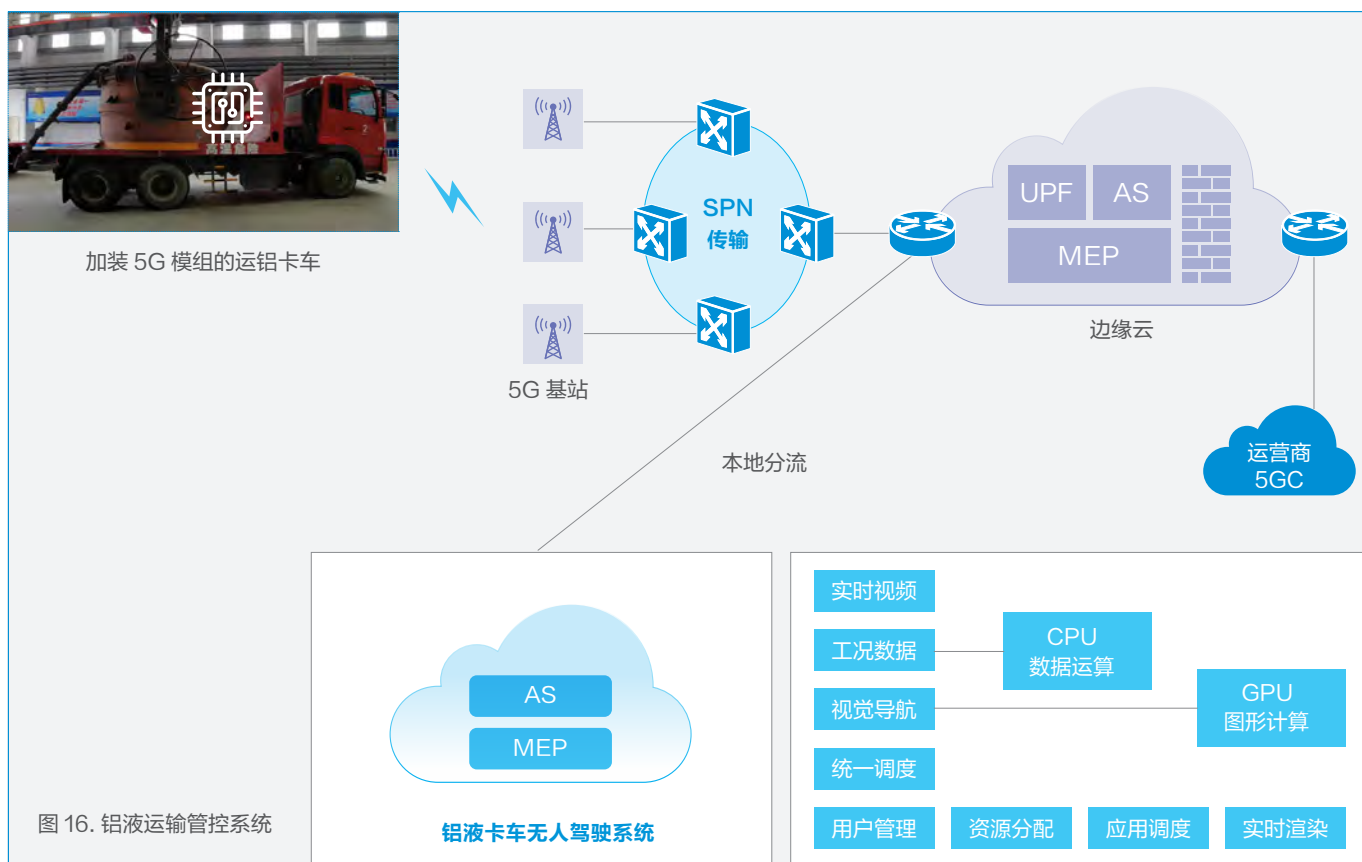


场景五：管控可视一体化系统—铝液运输

铝液车由运输板车与铝液罐组成，铝液罐具备保温、减少热辐射和途中防护等功能。铝液车载运输是将电解池的液体纯净高温铝液（约 900℃）抽出装入铝液罐中，通过铝液车在 4 小时内完成运输，在目的地卸载到指定位置。铝液在正常大气压 700℃下将固化，无法从铝液罐中倒出，因此铝液运输是高温高能量液体长距离移动过程，一旦发生泄漏极易引发火灾甚至爆炸等安全事故，存在较大的安全风险。

依托高清摄像头实现生产车间多台铝液抬包车在厂区内、外的车辆监控信息采集，并通过 5G 网络将实时采集数据上传至车辆运输管理系统。5G+ 管控可视一体化系统融合了运输风险分析—路径优化选线—事故应急救援管理—危险品相关资料查询—地理信息子系统—车辆管理系统六大子系统。同时，系统具备车辆定位、轨迹跟踪、高温报警、车距提醒、超速驾驶报警、疲劳驾驶报警等系列功能，支撑实现以铝液运输为代表的园区危险品运输的安全可控。

5G 铝液卡车无人驾驶系统能够减少铝水运输专用卡车的驾驶员数量需求，解决特种车辆驾驶员招工难的问题，同时杜绝夜班疲劳驾驶的问题，减少 90% 运输过程中的安全事故，提升铝水运输的安全。无人驾驶卡车通过智能导航和预判综合路况实现平稳行车，可以节约 20% 左右的燃油费用，提高单车运行效率 10%。



典型案例：电解铝企业 5G 应用

案例背景

某电解铝企业是国内最早从事电解铝生产的企业之一，紧抓“新基建”的发展机遇，依托 5G、云计算和人工智能等新技术，打造有色金属冶炼的智慧工厂标杆成为发展重点。当前，企业生产经营智能化升级中面临三大痛点：一是工作环境恶劣，人工现场作业存在安全隐患；二是车间数控设备多、监测样本量大，难以实现集中管理；三是能耗、原料消耗管理颗粒粗放，高污染、高能耗成为企业健康发展的重要阻碍。

案例及成效

此电解铝企业依托 5G 技术低时延和高带宽等特性，落地了 5G 电解槽漏液分析、电解槽精准温控、冶炼能耗分析系统和远程天车控制等应用场景。

——**5G 电解槽漏液分析**：完成恶劣环境下超高密度终端传感器的接入，实现了 0℃到 1000℃高温危险区域的在线检测，解决电解铝生产过程中总数超过 7 万且分布不规则的测温点数据采集，替代人工巡检，及时感知并预警电解槽漏液，减少生产安全事故。

——**5G 电解槽精准温控**：在 660 多个电解槽中部署七万个温度采集点部署温度传感器，利用 5G 将温度信息实时回传至工厂平台进行分析处理，对电解槽进行全天候、超高密度的温度监控，从而降低电解槽额外能源消耗，实现绿色生产。

——**5G 冶炼能耗分析系统**：完成 4 个电解车间槽控机的能耗数据实时采集，实现全厂 660 个电解槽的槽控系统实时对接。依托 5G 海量终端接入能力实现槽控机数据的实时采集，结合历史大数据以及 AI 算法，实现对于三氧化二铝、阳极碳棒及能耗的模型分析，提高电解槽内电流效应及氧化铝浓度分布的均匀性，大幅度减少人工干扰，提高电解槽稳定性。

——**5G 远程天车控制**：完成氧化铝车间多功能天车的改造，每台天车部署 31 个摄像头、9 个超低时延视频网关、9 个 CPE，利用 5G 实现厂区内成品仓库的天车远程集中控制，解决移动场景有线传输无法安装、WiFi 信号不稳定、跨区域信号中断等难题，大幅提升管理效率，优化操作人员工作环境。

应用成效：一是大幅降低能源消耗，实现节能减排，初步估算每吨铝降低直流电耗 100-200 度，每年可节约用电 9000 万度以上，每年节约成本超 2000 万元；二是实现危险环境作业远程化、无人化，降低安全隐患，现场作业人员减少 50%，单车作业效率提升 60%，预计节约天车单车运行成本 10 万 / 年。

有色金属加工 5G 应用

有色金属加工指在一定的温度和压力条件下，有色金属材料同时产生塑性变形和再结晶，如热轧、冷轧、挤压、拉伸或锻造，以实现热冷塑性变形。有色金属加工行业具有流程长、工序多、过程复杂等诸多特点，当前面临着车间数控设备难以集中管理与控制、工业现场动态管理灵活性差等发展痛点。如何构建生产模式优化、生产效率提高、产品质量提升、物流周转改善的生产作业机制，实现贯穿原材料采购、加工、物流、销售等多个环节的智能化转型成为当务之急。

5G 技术在加工环节应用呈“点多面广”发展态势，质量检测、数采、物流成为三大应用重点。根据生产工艺流程，有色加工可大致分为熔炼铸造、热轧、冷轧、挤压、加工五大环节，5G 在全环节共完成 28 类应用场景覆盖，跨环节类协同应用是当前发展重点，如设备数采、设备预测性维护、安全巡检、物料追踪、AGV/ 无人叉车智能物流、AR 远程指导等；与环节自身相关业务则集中于质量检测类应用，如表面质量检测、CCD 光学检测等。行业业务强相关类应用已开始初步探索，如产品质量模型、轧机动能环监测能耗与分析。



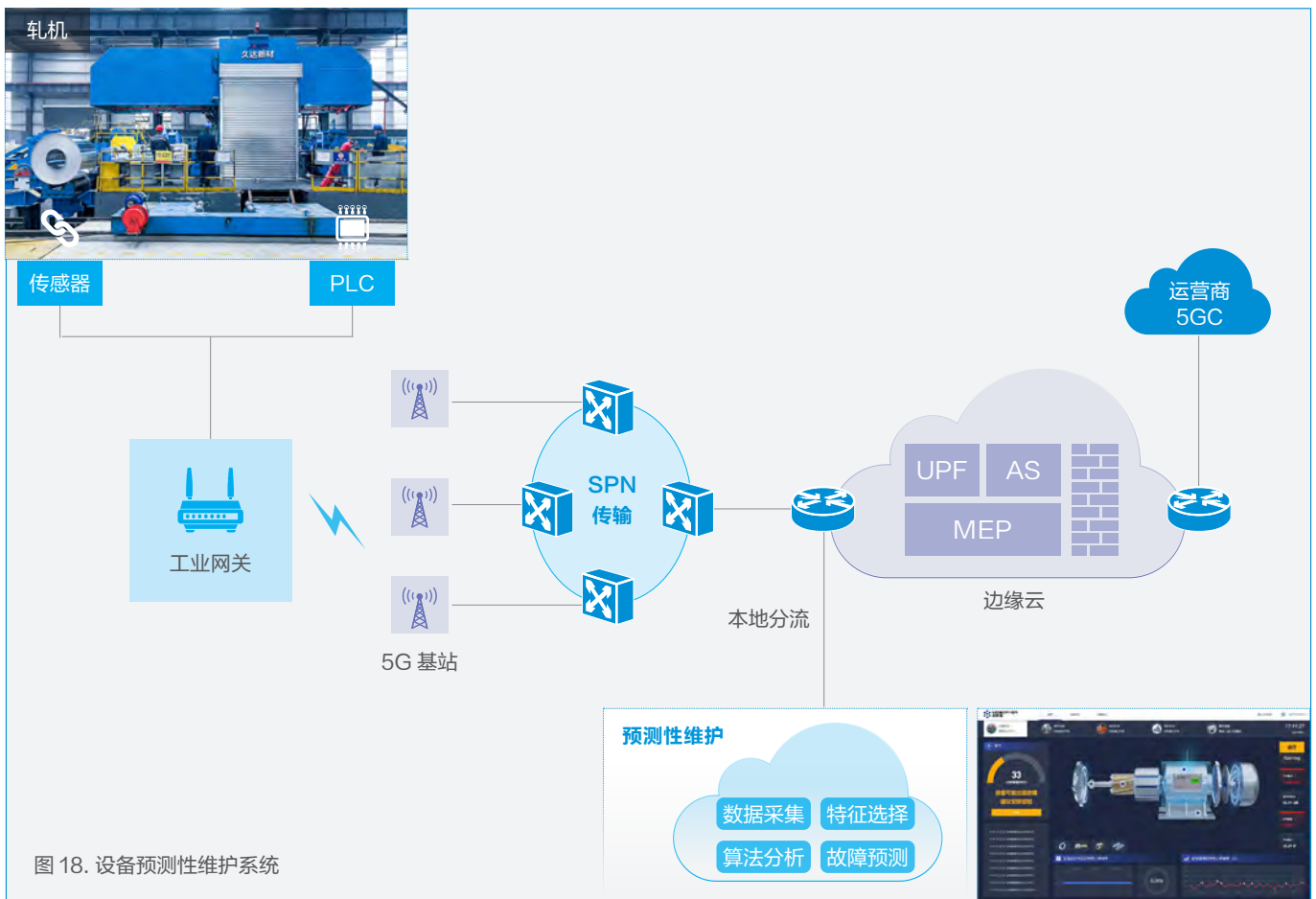
图 17. 有色加工环节 5G 应用总视图

场景一：设备预测性维护

在有色金属加工过程中，涉及到大量的机器设备如轧机、压块机、冷弯机、切割机、抛光机等。目前都是技术人员周期性进行巡检和更换备件，容易出现设备的过维护或欠维护，以及设备的非计划停机，严重时可带来重大的经济损失甚至安全事故。

5G 设备预测性维护是实时采集 PLC、DCS、SCADA 和传感器等各类生产设备的运行状态参数，通过 5G 网络实时回传至一体化平台，同时利用人工智能和大数据技术，对数据进行全方位分析，实现设备故障预警，避免非计划停机，减少备品备件损耗。

设备预测性维护可实时掌握设备状态，将设备运维方式从“点检定修”变革到“预测性维护”，实现基于设备状态变化趋势的智能决策，为检修计划的制定提供科学依据，最大限度地减少“过修”或“欠修”，有效保障设备安全及连续生产，减轻设备管理人员负荷，提高劳动效率及员工幸福感。



场景二：5G 智能物流

有色金属加工企业普遍存在招人难、人工成本高等问题，同时厂内生产物料（如铝锭、铝箔）运输较为频繁，距离较远的跨厂房运输对人力和工时提出了更高要求。

5G 智能物流利用 5G 大上行、低时延和高可靠的特性，实现 AGV 自动驾驶小车的无人化运行。整套系统由 5G AGV 本体、5G 网络、中心调度平台等组成。AGV 本体信息及周围环境信息依托 5G 网络传输至边缘调度平台，调度平台基于大数据、AI 物体识别、语音识别等功能，自主进行智能决策并下发至 AGV，以实现行驶路径规划、多车调度与协同作业，保障人、车、货的运行安全。5G AGV 可以自动在原料仓库与加工生产线之间搬运金属材料、半成品和成品，能够自动规划最优运行路线，躲避道路上的障碍。

5G 智能物流可解决有色加工企业离散、无序、不透明的物流现状，完成机器换人的同时，实现物料的无人化精准配送与定时定点定量配送，提升全厂生产线的柔性，提高物流效率 30%。

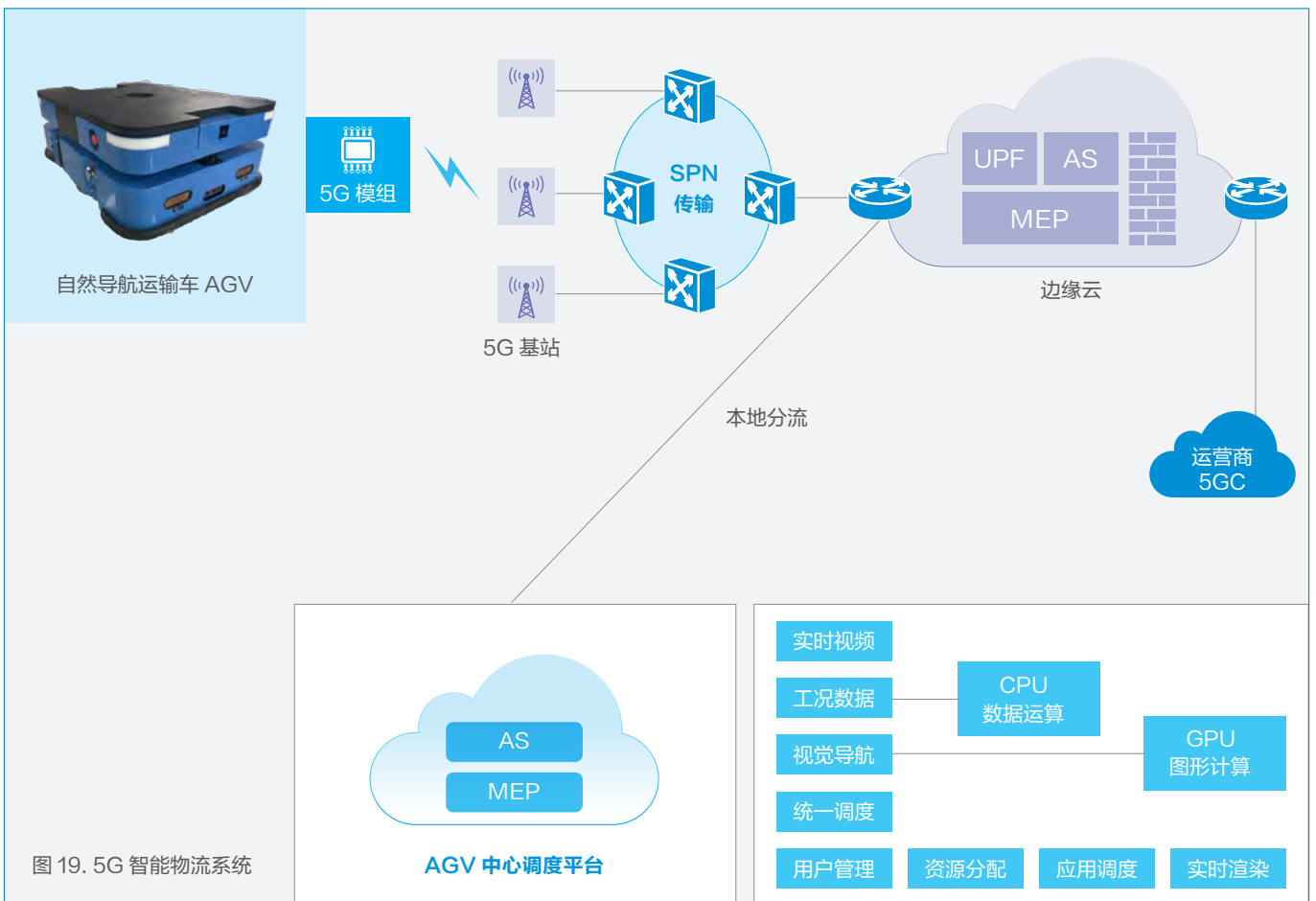


图 19. 5G 智能物流系统

场景三：5G+AI 质检

有色金属（如铝板带箔）加工过程中，表面会存在不同程度的质量缺陷，对缺陷识别并分类是操作人员的一项重要工作，识别情况对企业内工序间的工艺组织、出厂交付客户时的质量评判具有重要意义。传统人工质检效率低下，且存在误检漏检情况，随着用户需求的提升，对表面缺陷的细分能力也亟需加强。

5G+AI 质检采用多个并排高速、高清工业相机，实时快速抓拍产品的表面图像，利用 5G 的超大带宽和超低时延的能力，将图像信息回传到机器视觉分析平台即时分析产品表面的质量，快速识别出擦伤、刮伤、凹坑、凸点、孔洞等缺陷并产生告警，同时记录缺陷图片信息和缺陷分类。

借助 AI 机器视觉可以一键检测，降低人眼在黑暗环境下的疲劳和损伤，大幅改善工作环境，提升检测效率。同时，系统对所有出厂样品进行检测结果存储、统计分析和报表呈现，取代纸质记录，为后期质量分析、数据价值挖掘提供基础。

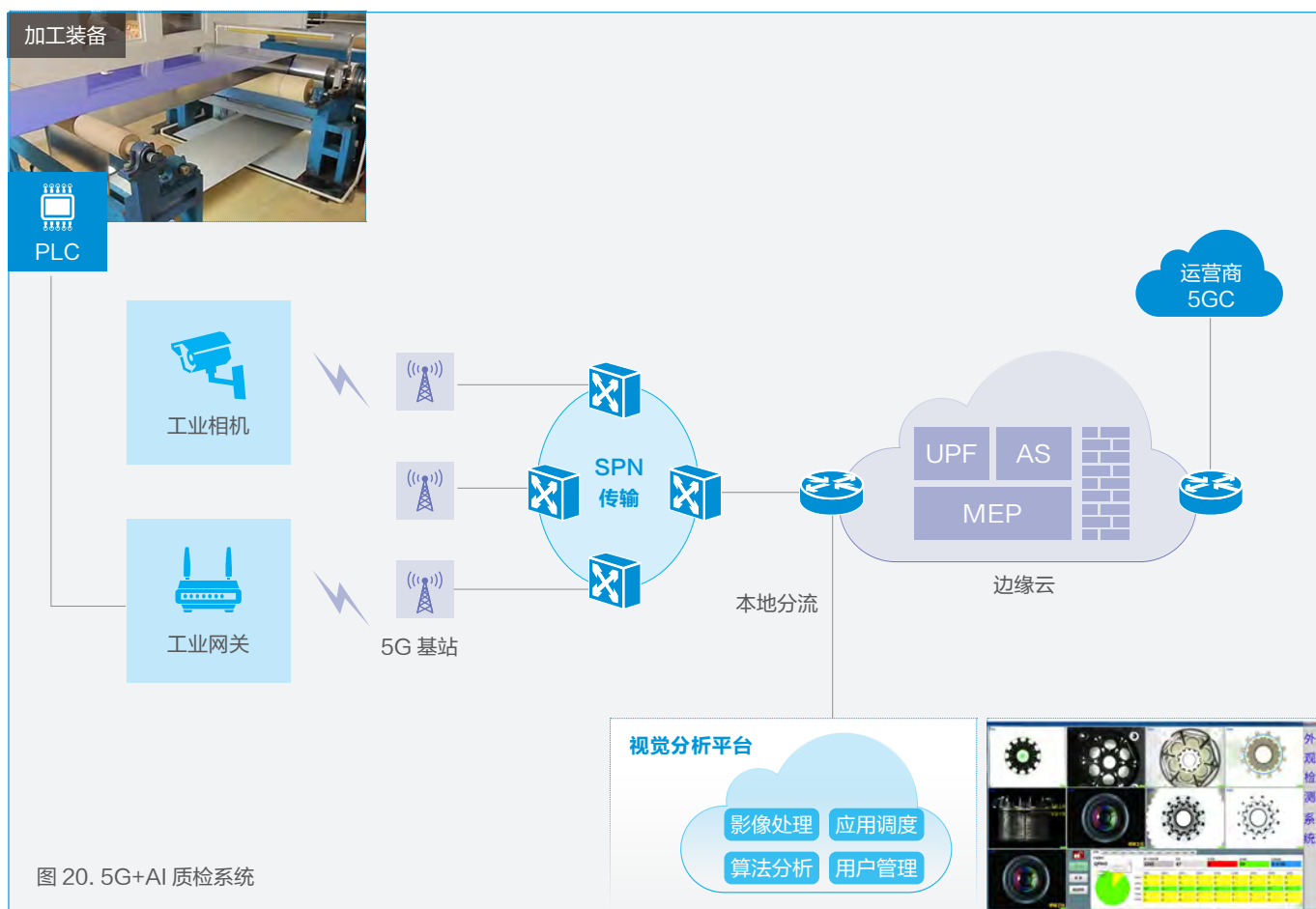


图 20. 5G+AI 质检系统

场景四：产品板型控制

板型是指板带材的翘曲度，常见的板形缺陷有边部波浪、中间波浪、单边波浪、二肋波浪和复合波浪等多种形式，主要是由于轧制过程中带材各部分延伸不均，内部产生应力所导致，严重影响成材率。板形控制是冷轧板带加工的核心控制技术之一，是提高和稳定产品质量的重要途径。

通过在轧机出口安装板型测量辊，检测出运行带材横向的应力变化情况，并将所测得的应力曲线与参考曲线相比，所残留的偏差（板型偏差）就代表了轧制期间所测量的板型偏差。板型测量辊感知压电陶瓷传感器测量带材的压力，并将其转化成电位差信号，通过 5G 网络反馈给中心计算机，并与预设板型曲线进行比较。当板型出现波动时，自动控制系统将通过调节轧制力、自动喷淋等对板型进行优化。

基于 5G 的板型控制，可以实时监控带材应力情况，一旦出现偏差可自动调整，可大大减少切边量，提升成材率，最终提升生产效率，降低生产成本。

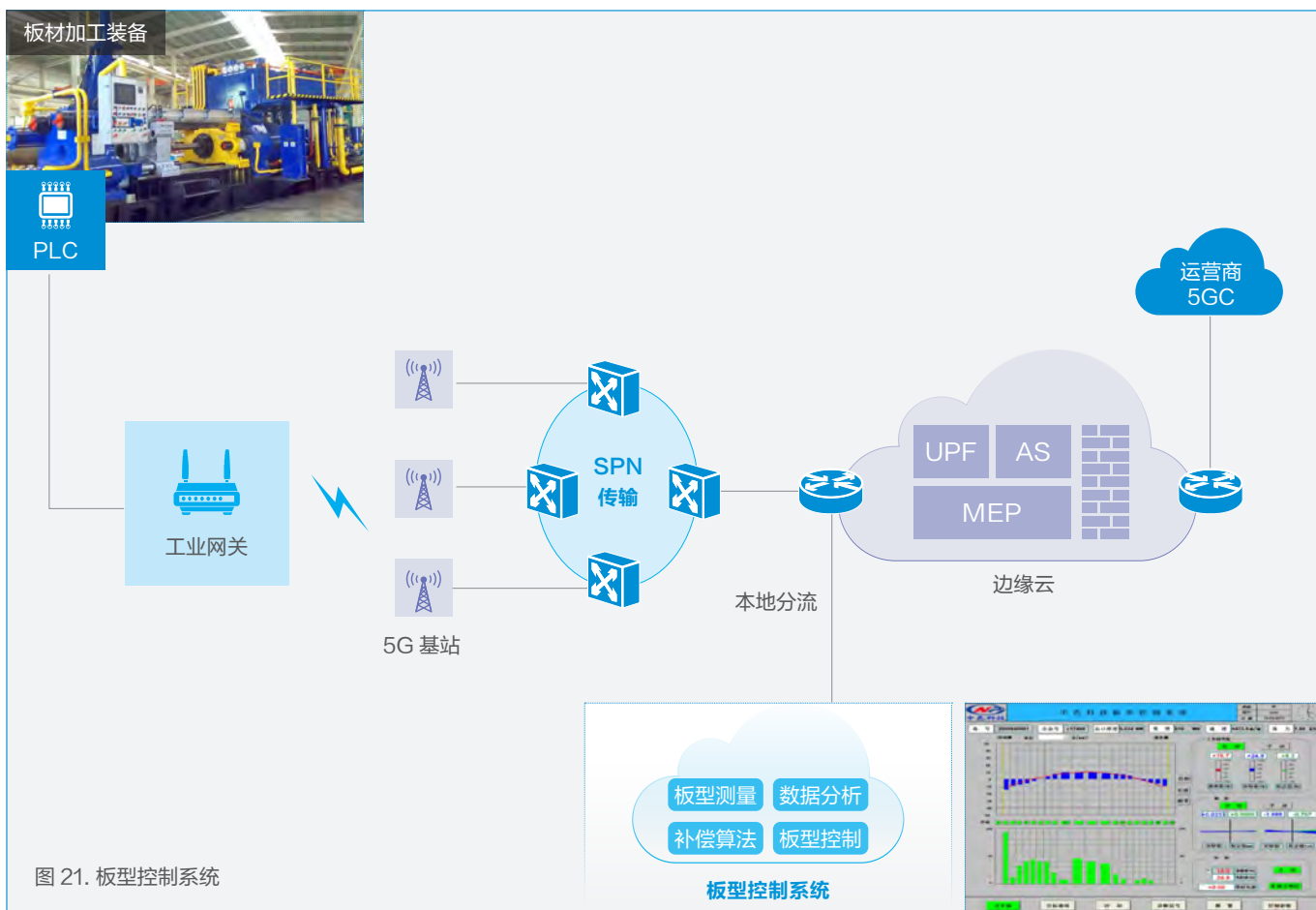


图 21. 板型控制系统

场景五：点检 APP 智能运维系统

电机是加工企业重要的生产设备，传统方式下通过手持测温枪检测电机温度，技术人员依赖经验通过听电机噪声来判断有无轴承异常，而对电机电流、电压、振动信息则无检测。

利用 5G 技术高速率、广连接、高可靠的特点，结合预测性维护系统，从有色一体化管控平台获取电机等重要设备的实时运行参数，以判断设备是否处于正常运行状态，一旦发现运行异常则产生告警。同时，支持提前 48 小时发现电机和风机的运行故障，并产生预测性故障告警信息，提供可选择的处理方案。

点检 APP 智能运维系统可实现数据随手获取与设备精准管控，大幅减少工作人员现场巡检的次数，提高点检效率。异常情况的及时上报能显著降低故障损失，支撑优化检修计划，减少维修成本，从而实现数字化生产管理水平和生产效率的全面提升。

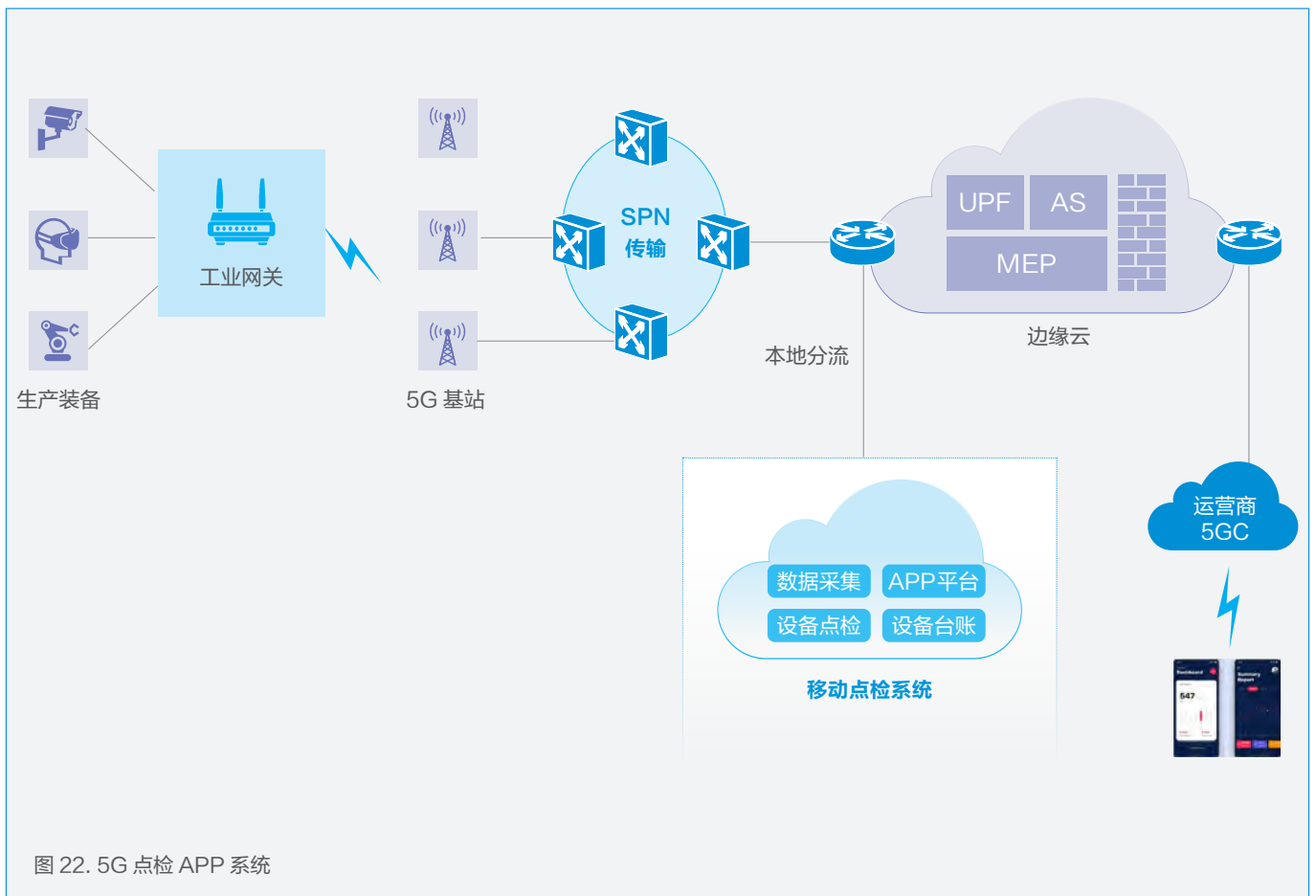


图 22. 5G 点检 APP 系统

典型案例：铝加工企业 5G 应用

案例背景

某金属铝加工企业是汽车、新能源及装配式特种建筑铝合金组件及材料的专业制造商，曾生产中国最大的火箭超大直径锻坯。该企业在数字化转型过程中面临四个痛点：一是人工肉眼检测铝产品表面缺陷的效率和准确率较低，最终良品率不到 60%；二是人工记录铝材料信息的出入库管理方式效率低，货物的定位和流向追踪较难；三是铝制品加工现场环境温度高，人工作业风险较大；四是人工操控天车时需要多人配合，效率较低且人力成本较高。为解决上述痛点，该企业积极探索 5G 应用，支撑自身数字化转型升级。

案例及成效

铝厂生产流程包括熔铸、挤压、上色、质检、入库及物流运输等六大环节，该企业将 5G 技术应用于质检、入库及物流运输三个环节。

——**5G+AI 质检**：利用工业相机采集到的各个角度铝产品表面的高清图像，通过 5G 网络实时回传至企业云平台，结合机器视觉、AI 等技术对产品表面进行自动识别，实现无人化铝表面深度质检，表面识别准确率由 71% 提升至 99.98%。

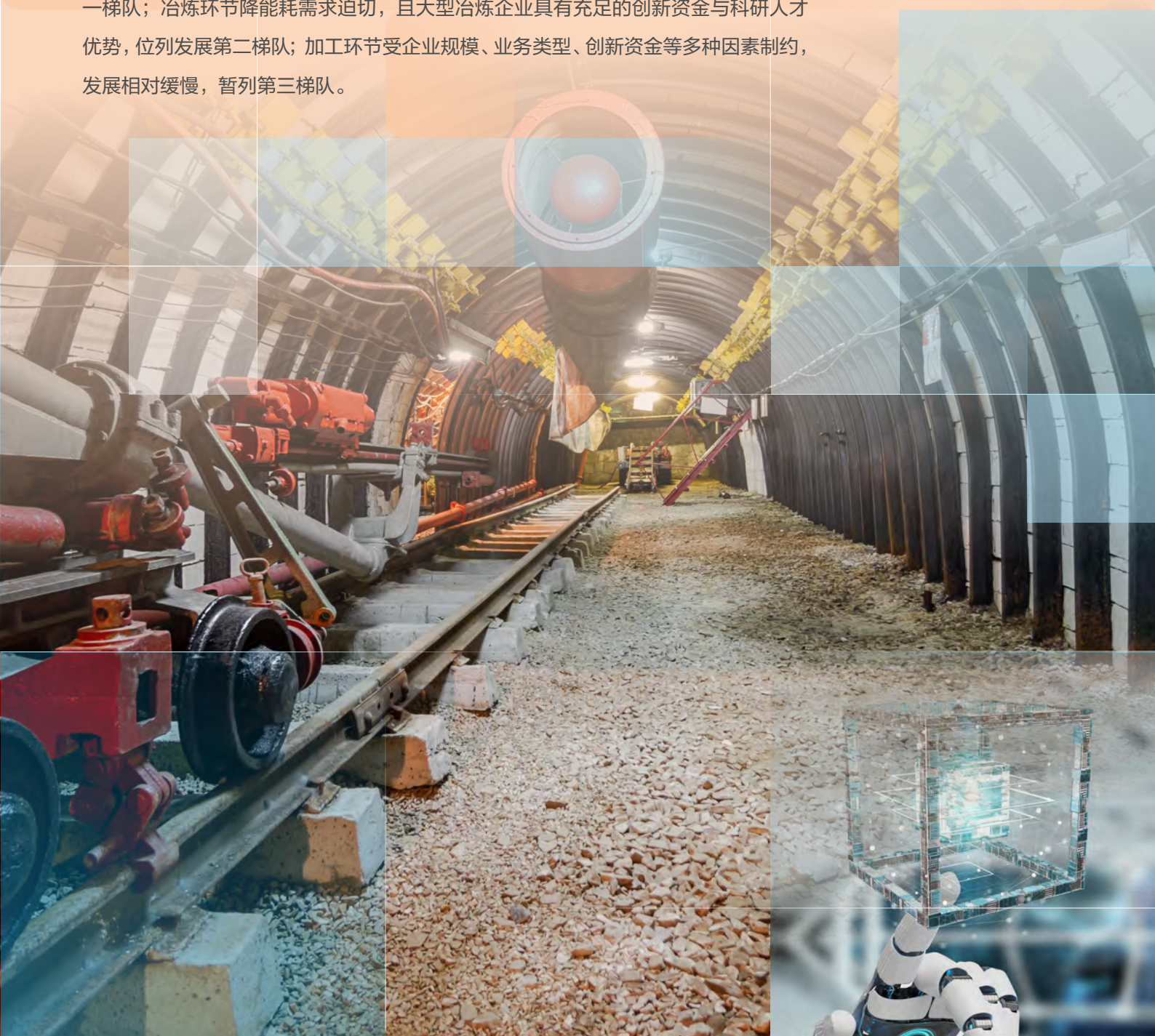
——**5G+ 智能仓储物流**：对铝材料进行编码，并通过 5G 网络广泛采集信息，借助工厂管理平台完成铝材料的精准定位和货物流向实时记录，解决传统铝材料的出入库管理人工归档慢、耗时耗力难辨别、管理效率低等难题；

——**5G+ 远程天车**：通过 5G 网络实时回传超高清视频来观察现场环境，并实时锁定天车下吊位置；利用 5G 网络低时延特性下达指令，实现对运输天车的远程控制。该场景下一人可同时远程操控多台运输天车，操作人员减少 67%。

应用成效：一是全面提升产品质量，铝生产良品率从 59% 提升到 65%；二是提升车间生产效率，5G 远程控制天车可将单次下吊时间从 20 分钟降低至 5 分钟，效率提升了 300%；三是大幅降低人力成本，据企业测算通过部署 5G 应用可节约人工成本 600 万元 / 年。

有色金属行业 5G 融合应用发展路径

统筹考虑有色金属行业智能化发展的方向、技术先进性以及智能应用的成熟度，5G 在有色金属行业呈阶梯型发展格局。采矿、冶炼、加工环节发展基础不同，5G 融合应用落地差异显著。采矿环节得益于龙头企业引领及应用规模优势，位列产业发展第一梯队；冶炼环节降能耗需求迫切，且大型冶炼企业具有充足的创新资金与科研人才优势，位列发展第二梯队；加工环节受企业规模、业务类型、创新资金等多种因素制约，发展相对缓慢，暂列第三梯队。



有色矿山 5G 融合应用发展路径

从矿山环节智能化、安全化转型需求出发，结合 5G 技术特点，5G 赋能采矿环节的发展路径可分为连接可见 - 部分系统智能 - 全环节互通为三个阶段：

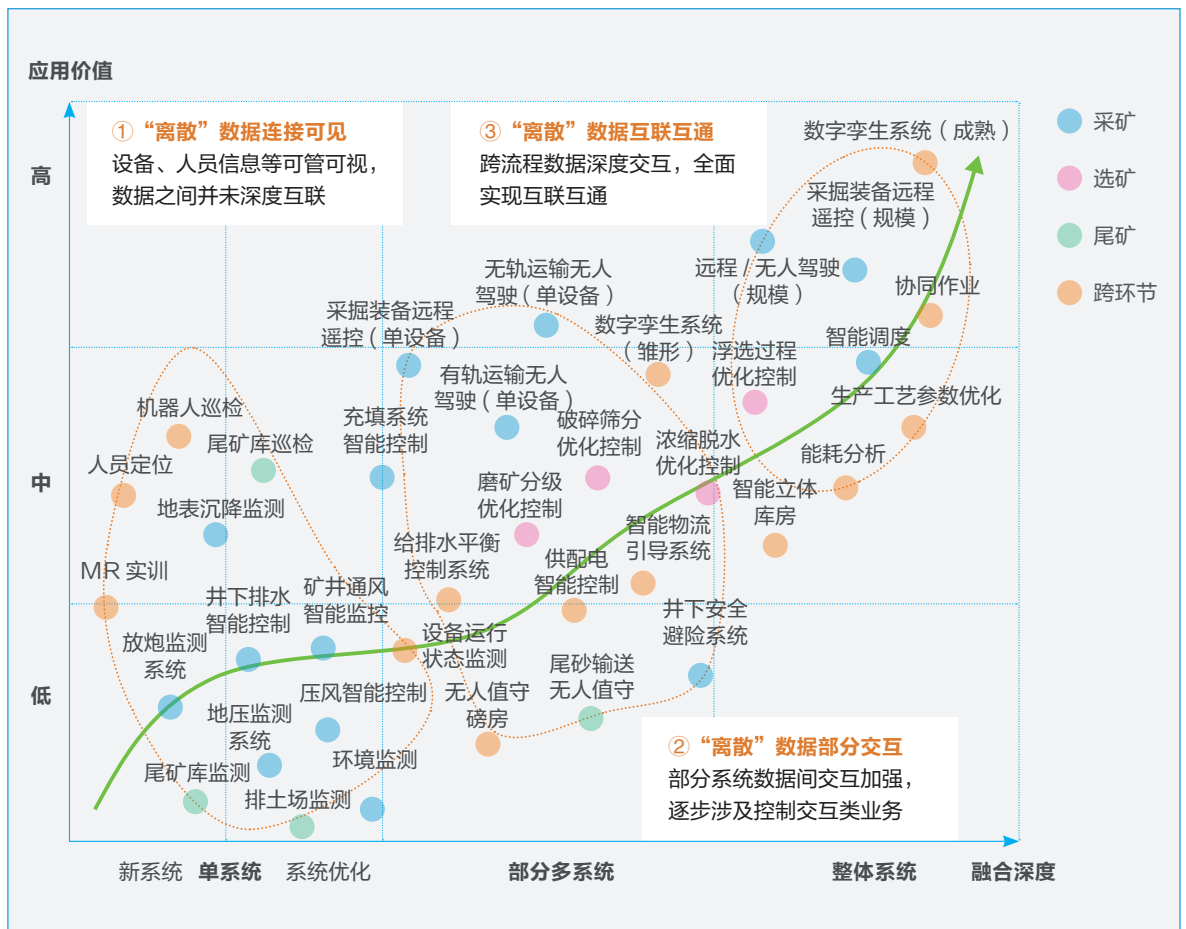


图 23. 有色矿山 5G 融合应用发展路径图

第一阶段连接可见：实现离散数据的连接和可见，支撑透明化的采矿生产、运维和服务。所谓“离散”即实现设备、人员等单一资源的数据连接、数字可视，不同数据间相互独立，并未产生深度关联。典型 5G 应用：地压监测、地表沉降监测、人员定位、设备运行状态监测、MR 实训、机器人巡检等。

第二阶段部分系统智能：实现部分离散数据交互和控制，支撑模块化的采矿智能作业。如单个掘进工作面、单个运输系统等，部分数据间实现复合共用，数据价值得到了部分展现。典型 5G 应用：单设备采掘装备远程控制、单设备无轨运输无人驾驶、初代数字孪生系统、智能物流引导系统等。

第三阶段全环节互通：实现全环节、全要素、全流程数据互联互通，支撑共生化的业务系统。通过数据驱动业务运行，实现产业与数字价值的共生，如多类矿采设备协同作业、采掘系统与运输系统协同、跨地域业务系统等。典型 5G 应用：协同作业、数字孪生系统、能耗分析、生产工艺参数优化等。

有色冶炼 5G 融合应用发展路径

冶炼环节高能耗高污染问题突出，转型之路任重道远。综合考虑绿色化、智能化、安全化发展需求，转型发展可大致分为信息补充采集 - 部分流程工艺优化 - 全流程协同优化三大阶段：

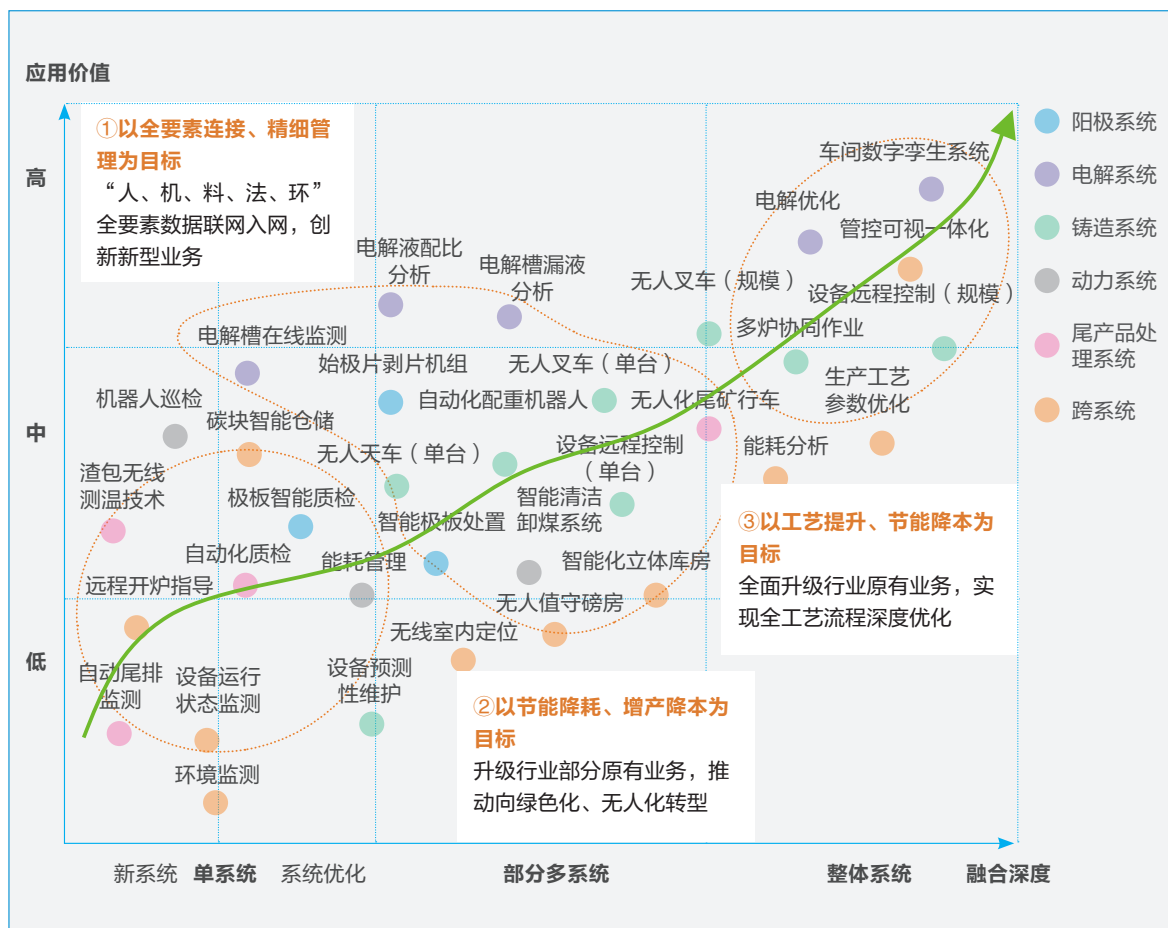


图 24. 有色冶炼发展路径图

第一阶段信息补充采集：数据信息采集与监测，以全要素连接、精细管理为目标。人、机、料、法、环数据可见可管，部分业务机器人换人，生产效率和产品质量得到双提升。典型 5G 应用：自动尾排监测、设备运行状态监测、机器人巡检、自动化质检、远程开炉指导等。

第二阶段部分流程工艺优化：数据信息发挥支撑价值，以节能降耗、增产降本为目标。优化电解车间、铸造车间等工艺参数、运营管理及操作水平，降低金属损失率和碳排放强度，促进行业向绿色化转型。典型 5G 应用：智能极板处置、多参数电解槽自动控制、电解槽在线监测、能耗分析、智能化立体库房等。

第三阶段全流程协同优化：数字价值得以全面挖掘、以工艺提升、节能降本为目标。基于全要素生产数据，利用大数据分析技术，开展生产全流程工艺深度优化，构建适应大规模定制、多工序协同的制品生产智能化工艺模型，指导改进生产流程，最终实现生产工艺与生产水平的双提升。典型 5G 应用：生产工艺参数优化、多炉协同作业、电解优化、车间数字孪生系统等。

有色加工 5G 融合应用发展路径

与有色采矿和冶炼相比、加工环节行业属性相对较弱。综合考虑转型需求及技术发展水平，加工环节转型大致分为管理优化提升 - 工艺效能提升 - 协同智能控制三个阶段：

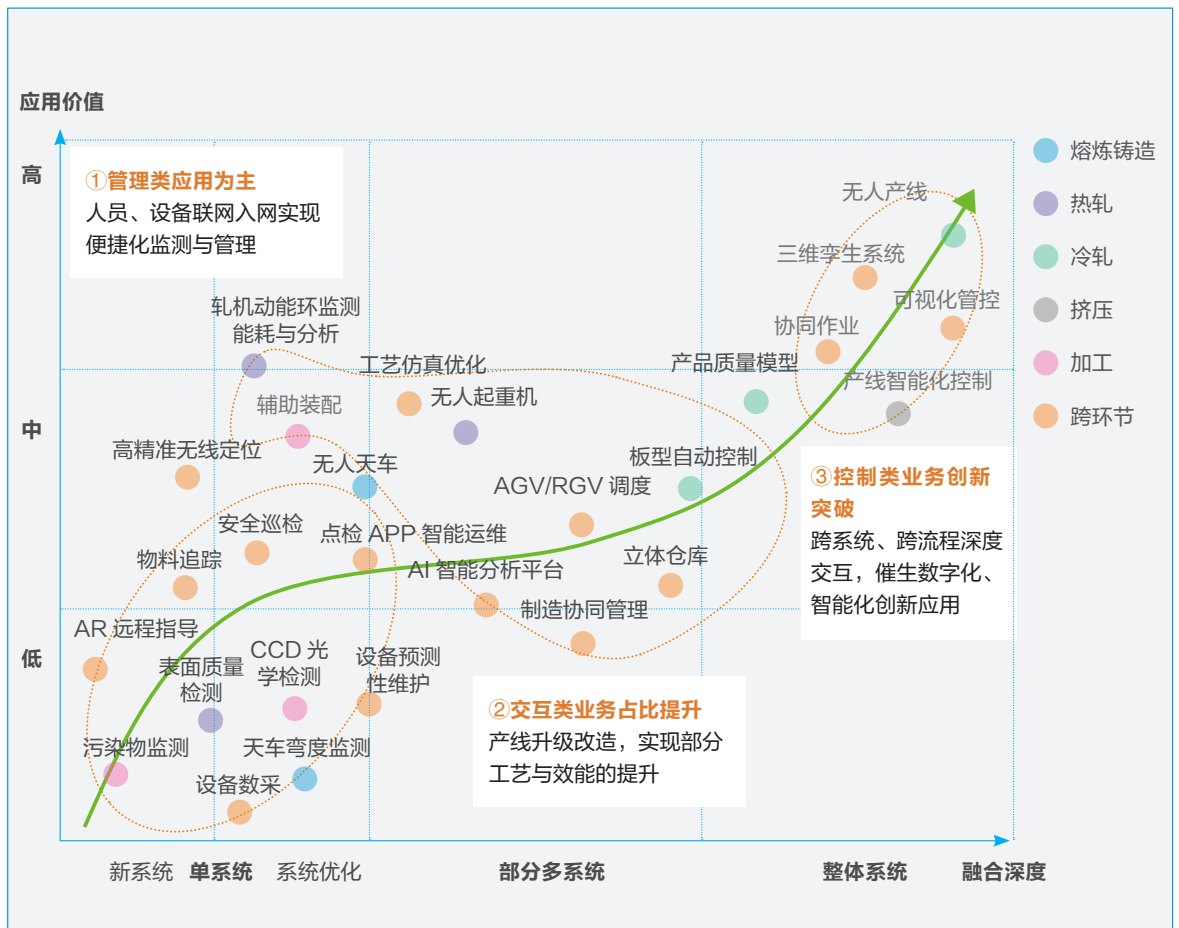


图 25. 有色加工发展路径图

第一阶段管理优化提升：管理类应用为主，实现生产周边设备与环境信息的动态化监测。基于 5G 大带宽通信能力对加工环节的管理类、采集类网络和终端进行替换升级。典型 5G 应用：设备数采、AR 远程指导、物料追踪、天车弯度监测、表面质量检测、CCD 光学检测、污染物监测等。

第二阶段工艺效能提升：交互类业务占比提升，实现与行业业务简单融合。通过对生产线进行升级改造，辅以云计算、大数据、人工智能等技术，实现工艺及效能的提升。典型 5G 应用：轧机动能环监测能耗与分析、板型自动控制、辅助装配、AGV/RGV 调度等。

第三阶段协同智能控制：控制类业务创新突破，实现与行业业务深度融合。一方面，与生产、控制、管理系统协议融合，实现智能化生产变革；另一方面，与现有生产工艺流程、模型相互作用，实现数字化产能提升。典型 5G 应用：协同作业、无人产线、可视化管控、产线智能化控制、三维孪生系统等。

