

## 有色金属行业数字化转型实施指南

### 一、发展目标

到 2026 年，有色金属行业数字化基础和网络化支撑明显增强、智能化应用水平显著提高，绿色发展与安全生产水平大幅提升、技术供给与公共服务持续强化，初步建成技术先进、体系完备、安全高效的数字化转型生态。关键工序数控化率达到 70%以上，关键业务环节全面数字化比例达到 53%；数字化转型成熟度水平 3 级及以上的企业比例提升至 10%以上，4 级及以上的企业比例提升至 5%以上；打造 30 个以上数字化转型典型场景，培育 15 个以上数字化转型标杆工厂和 5 家左右标杆 5G 工厂；建设 1 个有色金属领域制造业创新中心，2 个面向行业的特色工业互联网平台，上线 1 个以上有色金属行业标识解析二级节点；制修订 30 项以上有色金属行业数字化转型相关标准，突破一批工业软件、基础元器件、智能设备等关键技术，培育一批数字化转型解决方案提供商。

### 二、重点任务

#### （一）对标找差，开展数字化转型评估诊断

基于有色金属细分品种多、工艺差异大等特点，分步实施、有序推进评估诊断，在规模效应明显的铜、铝、铅、锌、锡、镍、钼、钨等品种先行开展试点，逐步覆盖稀有、稀散金属等品种。建立科学落地的有色金属行业数字化转型评价指标体系和评估方法，组织各省开展转型评估活动，并提出合理可行的数字化转

型改造建议和方案。

专栏 1 数字化转型评估诊断工程
<p><b>组建评估专业团队。</b>充分发挥行业协会、骨干企业、科研院所、数字化转型服务商等各方面作用，组织起草数字化转型评价指标体系、开展专家培训、设立自评估自诊断平台、提供咨询诊断评估服务、打造数字化转型服务商资源池等。</p> <p><b>开展评估诊断。</b>围绕研发、设计、生产、管理、营销、供应链等核心业务环节，全面评估诊断数字化转型现状，出具评估报告，找准痛点难点，明确开展数字化改造的方向和着力点，为企业数字化改造提供依据。</p> <p><b>强化评估结果应用。</b>制定“一企一策”改进提升方案，加速企业数字化转型，总结企业评估实践案例，提供交流共享平台，推动建立“以评促改、以评促建”的数字化转型评估评价体系。</p>

**（二）夯实基础，促进行业智能化改造提升**

**1. 夯实数字化基础。**推进数据标准化和数据治理体系建设，提高数字化交付能力，支持龙头企业建立有色金属行业工业互联网标识解析二级节点，确保数据的准确性、可用性、规范性，为工业互联网融合应用平台建设提供数据基础。研发有色金属工业物联网技术，实现人、机、物互联，突破数据传输易受复杂恶劣环境影响的难题，实现对数据全生命周期信息的及时掌握，支撑数据稳定可靠的共享与交互。

专栏 2 数字化基础提升重点方向
<p><b>有色金属网络化协同体系。</b>支持龙头企业按照国家工业互联网大数据中心的统一布局，打造有色金属行业分中心，通过分中心汇聚上中游勘探设计、装备制造、矿山开采、洗选、冶炼、加工、设计、贸易、运销以及下游消费用户，推动关键数据共享和生产资源优化配置，实现跨企业、跨</p>

地区、跨行业的研发协同、生产协同、供应协同，以数据网络推动产业链延伸与价值链升级。

**有色金属数据标准体系。**支持龙头企业评估存量数据标准对全产业链的影响，以国家相关数据标准为基础，从提高数据共享性、稳定性、可扩展性、前沿性、使用可行性和数据生命周期管理的角度，建立全面覆盖地质、采矿、选矿、冶炼、加工的数据标准体系，规范数据分类、数据仓库分层与元数据、表与字段定义、数据字典、统计维度、计算方式、分析规则等方面的管理，确保内外部数据使用和交换的唯一性、准确性、规范性，并在铝、铜、铅、锌、钼、钨等行业形成应用示范。

**有色金属行业工业标识解析二级节点。**支持龙头企业按照国家标识解析节点的统一布局，规划矿山、冶炼、加工、设计、生产服务的标识解析系统架构，建立有色金属行业工业二级标识解析节点、企业标识解析节点、公共递归解析节点，并纳入国家根节点、顶级节点标识解析体系，对设备和物品等一切生产要素进行管理，建立机器、物品标识编码，形成产品、设备、车间、工厂、平台纵向连接，上下游企业或集团内企业之间横向连接，设计、生产、物流、应用端到端连接，实现对数据全生命周期信息的及时掌握和工业标识数据管理，实现跨企业、跨行业、跨地区的数据共享和生产系统的精准对接、产品的全生命周期管理和智能化服务。

**有色金属工业物联技术。**针对有色金属工业典型应用场景，研究多物理场耦合与恶劣生产环境条件下的物联技术，开发或验证适应特定生产环境的物联技术及装备、边缘网关，突破信号传输易受复杂空间干扰、强磁和高温环境影响物联设备成本与安装、粉尘影响物联设备寿命等瓶颈，低成本、易安装、高可靠、高精度实现人、机、物互联。

**数字化交付。**支持 CAD、CAE 等平台软件企业与设计研究、施工单位深度合作，推动跨设计平台的数据接口开发和数据资源、图形模型的共享，

实现跨平台的数据、文档、三维模型以及与工厂对象的关联关系交互，提高数字化交付能力，促进协同设计和创新效率提升，支撑企业的数字化管理和数字孪生管控、协同创新、运维优化。

**2. 开展技术改造。**通过现有资金和政策渠道支持有色金属行业加快“智改数转网联”，推动企业特别是稀有、稀散等小品种金属生产加工企业，根据自身条件开展基础网络、基础自动化、管理信息化改造升级，加快高端可编辑逻辑控制器（PLC）、分布式控制系统（DCS）、安全仪表系统（SIS）等成熟技术“应用尽用”，实现全方位实时感知和数据采集。

**专栏 3 数字化技术改造提升重点方向**

**矿山企业。**完善矿山基础网络建设，整体规划部署矿山工控网、管理网、视频网等网络，建设矿山资源数字化管理系统和综合生产管控平台；对矿用卡车、钻机、凿岩台车、铲运机、电机车、磨机、加药机、浮选机、砂泵等采选设备及其他基础设施进行数字化改造，实现固定设施自动化系统无人值守、无轨装备和有轨运输系统远程遥控作业、选矿生产系统智能化运行；建设以行为管理系统、地压监测系统、尾矿库安全监测系统、边坡安全监测系统为代表的安全管理信息化系统。

**冶炼企业。**针对铜、铅、锌、钼等冶炼厂，加快实施配料、熔炼、吹炼、精炼、电解等重点工序的自动化改造，实现数据实时监测感知和统一采集管理，建设生产控制系统，完善自动控制、生产管理、设备管理、安全环保管理等智能管理功能。针对铝冶炼厂，重点推进多物理场耦合和恶劣生产环境条件下的在线检测，构建多源异构数据融合与管理平台，实现生产过程监视与数据分析。针对其它小品种有色金属冶炼厂，参考较大规模冶炼企业自动化改造方案，根据工艺条件实现关键设备智能化、关键工序智能化升级。

**加工企业。**针对铜、铝、铅、锌、钼、钨等加工工厂，加快熔炼、铸造、轧制、挤压、退火、精整等重点工序的自动化改造，实现生产、质量、设备、能源、物流、安全环保等实时监测感知和数据采集，构建集自动化、信息化和集中管理模式于一体的集控中心，实现生产运营集控、产线集控、公辅集控。统筹考虑工艺流程、前后工序衔接、产品质量设计管控等方面，打通工序间信息孤岛，提高产品质量稳定性和成材率。

### **（三）标杆引领，建设一批智能化标杆场景和工厂**

依托铜、铝、铅、锌、钼等行业龙头企业以及稀有稀散品种的专精特新中小企业，围绕工艺指标优化、质量效率提升、安全环保低碳、供应链协同优化等重点场景，选树一批有色金属行业数字化转型标杆工厂和优秀场景，打造一批分类分级、特色鲜明的标杆 5G 工厂。鼓励标杆企业发挥先进典型带动作用，加速新技术、新装备、新模式推广应用。

#### **专栏 4 智能矿山/冶炼/加工场景和工厂标杆**

**智能矿山。**完善矿山网络建设，推动矿用卡车、钻机、凿岩台车、铲运机、电机车等装备的数字化升级改造和固定设施自动化系统无人值守、无轨装备与有轨运输系统远程遥控作业，重点建设高可靠、高性能、支持“一网多用、数据融合”服务的多元数据融合网络和矿山生产一体化管控平台，部署三维矿业建模、采矿设计和排产配矿、矿石质量跟踪等软件，实现矿山环境、装备状态、工况参数、移动巡检等生产数据的全面实时系统化采集，智能装药车、智能铲运机、无人驾驶电机车等智能化装备一体化管控，以人员定位系统、地压监测系统、尾矿库安全监测系统、边坡安全监测系统为代表的安全管理，建成少人无人、本质安全、资源集约、绿色高效的有色金属智能矿山。

**智能选厂。**建设包含基础自动化监控系统、选矿专家智能控制系统、

管控平台、生产信息管理系统及移动巡检管理系统，部署浮选、加药、浓密、排尾及尾矿综合利用等先进过程控制软件，保障工艺流程、设备稳定运转，提高生产系统的抗干扰能力及自适应能力，提高回选率，建成厂房内操作无人化、中控室内监控少人化、生产区内无人值守的智能化选矿厂。

**智能冶炼厂。**针对不同冶炼场景部署关键在线检测装置，全面感知生产过程和关键设备运行数据和状态，推动配料、熔炼、吹炼、精炼、电解等重点工序的先进过程控制和智能装备的应用，建设工控网、管理网、视频网等一体化融合网络，实现生产控制、生产管理、安防管理等数据的集成与共享，提高精准控制、敏捷制造、供应链协同和计划管理、设备管理、能源管理、质量与计量管理、安全环保管理、职业健康管理等能力，建成低耗、节能、高效、少人、本质安全的智能冶炼厂，促进“双碳”运行。重点推动铝电解阳极电流分布、“三钢”温度、电解质/铝液水平等在线检测技术应用，开发新一代槽控系统；推动氧化铝生产原料制备、溶出、分解、沉降、焙烧、蒸发的先进过程控制与生产线全流程能量与物料平衡一体化控制；推动铜冶炼侧吹熔炼、顶吹熔炼、阳极炉先进过程控制和堆取料机、渣包缓冷、电解行车等的无人化。

**智能加工厂。**针对不同类型加工产线需求，推动熔炼炉、铸轧机、等静压机、线切割机等加工设备实现传感、测量、检测、控制等实时监测和数据感知采集，完善工控网络和办公网络，构建集自动化、信息化和集中管理模式于一体的集控中心，重点解决高频数据采集和多源异构数据融合与管理问题，实现生产、质量、设备、能源、物流、公辅设施、安全等实时数据采集和集中统一控制。重点围绕熔炼、挤压、铸造、轧制、退火等产线开展数字化应用，推进生产设备自动化及智能物流设备应用，提高生产管控、工艺优化、质量管理、物流管理、设备管理、能源管理、安全生产管控等能力，达到设备自动化智能化、控制模型智能化、生产操作少人

化集中化、计划管理协同集成化、生产过程透明可视化、质量管控一贯化、成本控制精细化、绿色安全化等目标。

**（四）创新突破，推动人工智能技术融合应用**

**1. 关键核心技术创新。**依托龙头企业、科研院所等组建创新联合体，建设有色金属领域制造业创新中心，聚焦关键软件、基础元器件、智能设备、先进控制系统等薄弱环节，开展联合技术攻关。突破有色金属冶炼加工关键环节在线检测技术瓶颈，推动构建采选、冶炼、加工生产全流程数字机理模型和数字孪生等前沿技术体系。聚焦铝等重点品种，开发基于数据与模型驱动的先进过程控制系统，提升有色金属行业生产一体化管控水平。

**专栏 5 数字化转型关键核心技术攻关方向**

**基础元器件。**重点突破凿岩台车、铲运机、破碎机、磨机、浮选机、熔池熔炼炉、闪速炉、回转窑、沸腾炉、电解槽、铸造机、轧机、挤压机、退火炉等行业专用典型设备的智能传感器与边缘计算单元，铲运机、卡车等矿用车辆无人驾驶控制器；突破一批冶炼加工在线检测仪器仪表，包括铝电解阳极电流分布、“三钢”温度、电解质/铝液水平等在线检测，氧化铝 Nk、原矿粒度与成分、泥层等在线检测，铜铝加工产品表面缺陷检测、产品轮廓检测、冷却强度检测、组织缺陷检测、涡流探伤仪等在线检测以及浮选泡沫图像检测等仪器仪表。

**关键软件。**重点突破三维矿业建模软件、设计和排产配矿软件、质量跟踪系统软件、工业自动化控制软件、专家系统软件、生产管控平台软件、原料配方管理软件、生产流程仿真建模软件、产品碳足迹建模软件、有色金属行业通用大模型软件、产品研发及设计协同软件等。

**智能设备。**重点突破智能装药车、智能锚杆台车、智能破碎机、智能钻机 etc 采选设备，数字电解槽、电解铝特种机器人、转炉自动捅风眼机、

自动浇铸机、熔体自动取样机等冶炼设备，以及智能熔炼、智能挤压机、智能轧制机组、智能退火炉等加工设备研发。研究复杂空间位置精准识别与精准定位技术，开发多自由度换极、吊装等执行机构，研制铝电解和炭素智能多功能机组。

**先进过程控制系统。**研究铝电解浓度、效应预报、稳定性和安全生产等控制与管理模型，开发基于数据与模型驱动的新一代槽控系统；研究粒度、成分、加药、浓度、温度等控制模型，开发氧化铝原料、溶出、沉降、分解、蒸发、焙烧工序先进过程控制系统；研究氧化铝全流程物料平衡与能量平衡模型，开发氧化铝生产一体化管控系统，实现生产过程一键式作业；研究精炼自动控制系统、轧机自动穿带（管）控制系统、一键轧制自动控制系统、轧机厚度控制系统、板型控制系统、热处理控制系统等。

**2. “人工智能+” 创新应用。**大力推动人工智能（AI）技术与有色金属行业的融合应用，将生产技术、专业知识、经验积累等沉淀为行业机理模型，依托行业技术领军企业搭建覆盖全行业的人工智能赋能平台，探索构建有色金属行业人工智能通用大模型，打造人工智能数据采集、模型训练、测试验证场景，加快设备运行、工艺参数、生产调度、质量管理、安全防控、经营决策等人工智能解决方案研发和应用推广，提升企业生产运行效率和决策智能化水平。

**专栏 6 有色金属行业“人工智能”创新应用场景**

**材料智能加工。**研究材料内部结构、晶相组织、力学性能等，建立基于工业大数据的高精度组织—性能预测方法和适应大规模定制的工艺模型库，并通过在线检测数据进行数据匹配、模型训练，揭示产品性能与质量的变化规律性，推动加工参数动态调整，提升材料性能和加工质量。

**关键设备运行状态监视与预测性维护。**实时监测穿爆装备、铲装装备、



运输装备、回转窑、粉煤喷吹装置、压滤机、轧机、挤压机、退火炉等有色金属行业主体设备的运行状态数据；研究基于数据分析的设备健康预测模型及其决策支持策略，构建面向关键设备故障解决的 AI 大模型系统，通过 AI 视觉及机理模型融合应用，结合设备运行参数及运行状态，实现设备异常分析和预测；构建设备故障与设备运维关系图谱，基于知识推理技术预警设备故障，根据设备故障类型，寻找最优的运维方案，助力企业制定设备维修维护计划，避免设备故障引发停产，实现设备智能运维，提升设备稳定性和使用效率。

**生产智能控制。**针对工艺参数难检测和非线性、多变量、大时滞生产过程，运用机器学习、神经网络等技术，研究生产过程多维度的 AI 控制模型，丰富智能控制模型库，解决采矿、破碎、尾矿充填、熔炼、溶出、浸出、萃取、电解、铸造、挤压、轧制、退火等关键工序的智能控制难题，推动矿山资源数字化管控、采矿智能作业与协同、采选生产智能协同、铜酸生产智能协同、铜渣生产智能协同等多工序智能创新应用。重点建立铝电解浓度控制、效应控制、出铝换极热量损失与施加补偿电压、物料和能量平衡与生产稳定性的关系等模型；氧化铝矿石粒度与加球、原矿粒度和成分对氧化铝溶出率影响、产线能量平衡与物料平衡等控制模型；铜铝加工产品质量与轧机工艺参数调整、板形控制等模型；选矿矿石粒度和成分与加药、矿石粒度与加球等模型。

**生产过程仿真与智能排产。**以全局运行最优为目标，研究人员、产线、库存、物流、交货期等能力约束条件下的成本最优、效率最大、库存最少动态规划模型和求解方法，开发智能排产软件，并进行可视化仿真，持续推动模型迭代升级，解决计划调度长期依靠人工不精准、不合理的难题，实现人、原材料、产品、备品备件、物流车辆等生产资源的优化调度，提升企业生产运行效率和决策智能化水平。如，通过矿山资源大数据与价值

模型实现中短期智能排产，实现配矿优化管理；建立矿用车联网平台，通过智能调度系统、智能驾驶系统、智能运维系统的应用，实现人、车、路、矿的最优化管控。

**智能质量分析。**完善生产全流程数据采集系统，建立生产质量数据库，研究设备判级、质量判级、缺陷致因等分析模型，开发产品质量全生命周期追溯与基于知识推理的质量分析系统，挖掘引发质量问题的原因，获得产品质量各维度数据的分布和变化，以及各维度数据间的相互影响因子，及时甄别关键质量问题，实现实时质量监测和异常分析，提升生产稳定性和产品质量，降低产品不良率。

**安全环保智能管理。**研究有色金属行业安全与环保典型案例，分析在采选、冶炼、加工过程中音视频异常、运行数据越限、地质条件变化等对生产的影响，挖掘导致安全隐患发生的致因规律，开发安全环保的 AI 大模型系统，并运用语义分析、知识图谱等技术，进行危险源辨识和风险评估，编制应急预案与演练方案，实现基于知识推理的安全环保预警与问题处置。如，通过视觉 AI 技术，判断不同的车辆是否在规定区域按照规定行驶，检测矿山、厂区内人员行为是否规范（是否有穿戴安全防护等），违规作业告警和启动录像；对矿山、厂区内危险作业区等人员禁入区域设立电子围栏，通过 AI 视觉分析，识别人员非法入侵等；建立全厂环境管控平台，通过相关数据采集、传输、统计分析、预警等功能，实现环境智能化管理。

### **（五）强化供给，培育数字化系统解决方案提供商**

鼓励行业骨干企业、研究院、设计院及数字化转型服务商等开展联合创新，打造产学研数字化转型生态，研究开发智能仪表、设备远程运维、质量在线检测、能源智能优化等专业化解决方案，集采集销、供应链金融、智能物流服务等区域化解决方案，集成

式、一站式的数字化系统解决方案。聚焦有色金属行业中小企业特点和需求，开发采购、销售、财务、生产等环节轻量化、易维护、低成本的解决方案。

**（六）平台赋能，强化工业互联网平台支撑服务作用**

在铝、铜行业建设特色型工业互联网平台，构建场景、设备和作业流程等数字孪生模型，实现各业务系统监测实时化、知识模型化、控制决策智能化。定制开发一批行业专用的先进过程控制、设备运维、生产管理、运营决策、仓储物流等专用 APP，提高企业纵向立体管理和横向业务联动能力。鼓励龙头企业搭建企业级工业互联网平台，与配套中小企业共享智能设备、仪器仪表、软件、工业 APP 等数字技术产品，实现多层次企业之间数据融合互通和应用管理共享。建立有色金属行业再生资源回收利用数字化平台，推动数字化交易和智能化服务。

专栏 7 “工业互联网+生产”平台重点领域
<p><b>工业互联网+矿山安全。</b>加强卫星遥感、无人机航拍、地测传感器、GIS 等技术和多模态、多时序、多粒度数据融合技术的应用，规划矿山地质环境监测体系，研发地质灾害预警报警、地质灾害应急处置、综合风险评估、灾害态势分析、灾害预警发布等模型，构建地质灾害大数据中心、预测预警信息服务平台、应急指挥调度平台，提高天空地宏观与微观数据综合与分析能力，实现地质矿产与资源环境一张图管理，提升全向互联、全域协同预测预警地质灾害和应急指挥调度及演练方案优化水平。</p> <p><b>工业互联网+产业链协同。</b>针对有色金属行业集团型企业制造基地多、管理模式多元、产能负荷和工艺差异大等特点，建立多基地协同制造平台，实现供应链协同和制造协同。重点发挥铝工业龙头企业的影响力，聚集矿山—氧化铝—电解铝—粗加工—精深加工—阳极与阴极等产业链企业，推</p>

动跨区域、跨系统的网络互联，构建基于区块链和分布式数据空间的铝工业产业互联网，推动全产业链上下游企业跨区域、跨系统的网络互联和生产计划、能源供给、物流运输、进销存、共享设备等一体化协同管理，实现全产业链资源优化配置、产能平衡、制造协同、物流优化，提高运行效率，降低运行成本。

**工业互联网+设备健康诊断与远程运维。**建设铜、铝、铅、锌、钼、钨工业互联网设备健康诊断与远程运维平台，集成矿山、冶炼、加工生产过程关键设备运行数据，形成生产、装备制造企业以及研究设计单位等多方参与的协同工作环境，推动面向设备安全连续运行的机理模型、经验模型、数字模型应用研究，实时监视设备运行状况，并对异常进行预警报警，提供设备综合效率管理和故障分析，提高生产企业运行维护和装备制造企业线上线下维护维修能力，减少设备停机时间。

**工业互联网+产业集群数字化服务平台。**面向铜、铝、铅、锌等产业集群，引导集群大中小企业数字协同，大企业基于工业互联网平台等与中小企业实现数据联通，带动中小企业“云上”融入产业链和大企业生产运营体系，强化对中小企业在工艺技术、质量管理、标准体系等方面的带动提升，引导集群内中小企业以网络化协作弥补单个企业资源和能力不足，实现技术、产能、订单、劳动力共享。

### **（七）筑牢防线，推进网络与数据安全治理**

强化政策标准宣贯，指导行业企业开展工业互联网安全分类分级管理。围绕采矿与矿石处理、有色金属冶炼、材料制备加工等业务场景，聚焦矿产资源信息、原辅料及产品库存量、关键工艺过程等数据，深入开展重要数据识别备案和数据安全防护工作。