智造向未来
走进有色行业卓越级智能工厂

让智慧冶炼走向世界

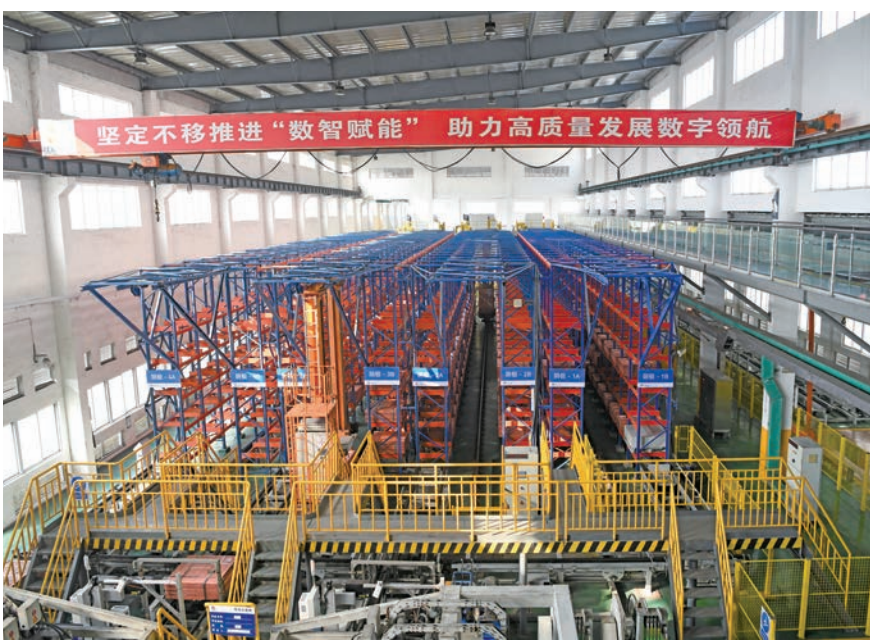
——江铜集团贵溪冶炼厂智能工厂项目建设纪实

刘献忠 | 文

智能制造是现代工业未来发展的新趋势，作为世界最大的单体铜冶炼工厂和我国铜冶炼行业首个试点示范项目，江铜集团贵溪冶炼厂（以下简称“贵冶”）实施的智能工厂项目建设正是在智能化发展潮流中的创新之举。

在数字化浪潮中，贵冶自2016年便开启了“智慧冶炼”新征程，启动智能工厂一期建设。2024年8月，贵冶“智能制造示范工厂”揭榜任务——“铜冶炼智能制造示范工厂”项目以高分通过了工业和信息化部专家组验收。2025年1月，工厂荣获国家卓越级智能工厂授牌，成为全国首批235家卓越级智能工厂之一。

十年磨一剑。如今，智能工厂一期建设成效显著，生产效率提升30%，综合能耗下降10%，不良品率降低10%，碳排放减少25%。多个项目荣获国家级荣誉，其中，极板智能化转运产线成为行业智能化升级的标杆。目前，智能工厂二期工程正加速推进，进一步夯实“智慧冶炼”根基。这座屹立在赣鄱大地的“铜业巨擘”，正向着“全面打造具有核心竞争力的世界最好炼铜工厂”的目标全速迈进，为国企高质量发展树立典范。



贵冶电解车间阴极铜产品转运作业场景

智慧冶炼全程展开

贵冶智能工厂一期项目建设投资2亿多元，涉及16个子项目，项目起点之高，技术难度之大，建设精度之难，在贵冶40多年发展历程中也是绝无仅有，无异于一场新生。

该项目建设伊始，便得到江西铜业集团有限公司高度重视，公司成立了由领导班子成员牵头的创新能力一流攻关小组，对项目监督予以指导稽核，确保项目受控。

压力就是动力。贵冶抓住国家“铜冶炼智能工厂试点示范”项目的契机，以此作为工厂提质增效、转型升级、打造标杆的突破口。为此，贵冶成立了项目指导委员会，成立数字化部管理部门，下设项目管理办公室，抽调了近百名生产技术管理人员作为内部顾问及关键用户参与项目建设，明确了各子项目牵头领导和责任单位，全面加强组织领导，每一名厂领导班子成员按专业和分工至少承担一个智能工厂项目。同时，强化项目监管，多措并举，扎实有序地推进各个子工程项目的落实。

据悉，贵冶智能工厂建设一期项目

实施的所有项目，以工业化与信息化深度融合、高度协同集成为目标，构筑“现场识别自动化、信息处理即时化、问题研判协同化、管理决策智能化”的智慧冶炼新模式。其中，世界首条极板无人智能化转运生产线在电解车间建成，彻底颠覆了传统的倒运模式，成功破解了人工装车效率低、能耗高等难题，打通了全流程智能化的“最后一公里”，实现了生产效率与环保效益的同步跃升，为智能化升级树立了新标杆。

打造领航级智能工厂

自2024年国家开展智能工厂梯度培育行动以来，贵冶将“建设领航级智能工厂”作为首要课题，全力加快推动项目实施。

为达成目标，贵冶各基层单位领导班子成员在深入学习智能工厂培育相关专业知识的同时，纷纷下沉到工段、班组，深入工艺生产线，反复调研，寻策问计，结合单位自身实际，拿出“因地制宜”的数字化车间、智能化运用场景等实施方案。

在不懈努力下，熔炼车间提出了基于AI自主学习实现上下工序智慧协同、区域智能安全管控、物流智能高效转运、大数据精准分析识别智能操控的熔炼多炉作业协同智慧冶炼新模式。

电解车间则谋划实施三系列电解智能项目集中控制升级，依托整合或新增智能运用场景，构建全流程产品质量控制、能耗控制、指标控制三大数字化管控模型，打造机组、行车、装槽作业无人操作和洗槽作业、短路检测处理、电解液管控自动化的无人电解车间。

硫酸车间三氧化二砷智能灌装机仓储项目通过一年多运行，已实现三氧化二砷灌装、包装、储运自动化，构建了“全自动罐装仓储—数据贯通—库存智能”协同体系。硫氢化钠自动输送及卸车负压抽气系统改造均已完成，为后续生产数字化升级奠定基础……

成效彰显创新活力

目前，贵冶智能工厂建设已建成装置数字化、网络高速化、数据标准化、应用集成化、感知实时化的智能工厂框架。

其中，贵冶首创熔炼生产节奏智能控制系统，通过数据建模实现闪速炉、转炉、阳极炉的协同作业，三大炉作业效率提升15%，吨铜能耗降低5%；2018年，随着PI实时数据库扩容至10万点，贵冶初步建成覆盖生产、能源、设备的大数据平台，标志着“智慧冶炼”新时代正式开启；启动铜冶炼物质流智能优化技术项目，打通原料进厂、过程生产、产品出厂全链条数据，实现关键设备状态实时监测与故障预警。该项目经中国工程院院士团队鉴定达到“国际领先水平”，并在同行业推广应用。

在装备智能化领域，贵冶研发极板自动转运系统，将12道独立工序集成，阴极铜转运效率提升50%，人工成本降低60%，入选“全国智慧企业建设最佳实践案例”，成为行业“标配”。同时，尾矿无人行车系统通过视觉识别与激光测距技术，实现物料转运精度误差小于5毫米，为整个行业的技术革新和模式创新提供了可复制、可推广的实践样本。

为提升生产效率和管控能力，贵冶建立了数据中心、生产指挥中心、视频监控中心、计量控制中心四大汇聚中心，实时汇集传递生产、安全、环保、工艺、质量等信息，缩短了生产与管理信息的流转路径。各环节的紧密衔接和协同配合，通过规范化通讯接口实现数据交互，达到“数据不落地”的传输，实现资源大共享，变“信息孤岛”为“信息通衢”。同时，贵冶以工业互联网为核心基座，深度融合5G、人工智能与数字孪生技术，上万台智能传感器被部署到生产线各个环节，构建起覆盖全厂的数据采集网络，将海量生产数据实时汇聚至统一管控平台。

通过不断的建设，贵冶已建成工业和信息化部首批卓越级智能工厂，显著提升了生产效率和管控能力。生产操作人员的工作环境得到改善，生产效率提高，降低了生产成本并实现节能降耗，进一步推动了绿色生产的目标。

在数智赋能过程中，主生产车间关键设备数字化率、生产数据自动采集率达到100%，大幅提高了劳动生产率。在提高产品质量方面，通过建模与工艺控制，将降低冰铜、粗铜品位的波动范围，大大稳定了炉况，提高了炉窑效率，减少了检修时间。实现了提升经济效益，降低生产成本的目标。

绿色生产方面，贵冶通过能源管控中心，实现能源的优化平衡与智能分析，完成了从关注工序级能源效率到关注工厂级能源效率的实质性转变，达到节能、降耗的目的，提高了能源利用率。在减少空气、氧气和天然气消耗量方面，预计平均每吨粗铜将减少天然气消耗量3立方米，工艺氧量降低10立方米，空气量降低35立方米。

从2016年的“第一个吃螃蟹”，到今天成为工业和信息化部首批卓越级智能工厂，从“单点突破”到“全面生态构建”，正是贵冶这个传统工业智能化转型的缩影。

未来，贵冶将通过智能工厂的持续建设和不断推进，朝着科技制高点不断迈进，以持续突破的实践成果，为行业智能化转型提供可复制的路径，为中国制造业在智能时代的升级提质注入来自生产一线的坚实力量。中

（作者单位：江铜集团贵溪冶炼厂）

数智赋能绿色冶炼

——阳新弘盛铜业有限公司卓越级智能工厂建设实践

张威 任智弈 | 文

工业和信息化部公布第一批卓越级智能工厂名单，中色大冶阳新弘盛铜业有限公司（以下简称“弘盛铜业”）成功入选，成为全国铜冶炼行业智能制造的重要标杆。

作为中国有色集团与湖北省深化央地合作的重要项目，弘盛铜业自建设之初便将智能制造作为企业核心竞争力培育方向，坚持以数字化、网络化、智能化推动传统铜冶炼产业转型升级，围绕“全流程数字化、关键环节智能化、运营决策智慧化”目标，打造覆盖生产、经营、管理、安全、环保全业务链条的智能工厂体系，形成了具有行业示范意义的铜冶炼智能制造实践路径。

弘盛铜业智控中心

构建智能底座 打造全流程数字化工厂

弘盛铜业按照《有色金属行业智能工厂建设指南》结合自身实际，设计出“天上一朵云、空中一张网、地上一平台”的总体架构，建成覆盖全厂的数字化基础设施。

在基础网络层面，企业融合工业控制网、工业互联网、5G专网、安防视频网、数据采集网等，打造“九网融合”工业网络体系，实现生产现场、设备系统与管理平台全面互联互通。

弘盛铜业以统一数据平台为核心，汇聚16余万个工业实时数据点位及业务数据，推动IT与OT深度融合，贯通从原料进厂到产品销售的全流程数据链路。建设工业互联网平台，集成生产、设备、安环、能源、供应链等16套业务系统，形成统一数据标准、业务流程与管控体系，进一步强化数据资源的标准化与体系化管理。依托数字底座整体建设成果，企业系统梳理数据资源结构与业务关联关系，逐步构建形成覆盖全业务域的数据资产地图，实现数据资源的可视化、结构化管理与价值化应用，有效支撑生产数据实时采集、经营数据在线共享和管理流程协同运行，为智能工厂建设提供了坚实的数据基础支撑。

聚焦智能生产 推动关键环节少人化无人化

围绕生产全过程智能化目标，弘盛铜业积极推进自动化装备与智能技术深度融合，建设了一批行业领先的智能应用场景。

在智能仓储环节，围绕原料、产品及物资全生命周期管理，构建覆盖全厂的智能仓储体系，建成备品备件库、精矿库、冰铜库、阳极铜库、阴极铜库及硫酸库等智能库，实现物料自动识别、智能存储、精准定位、库存动态管控和全程追溯，推动仓储管理由经验管理向数据驱动和智能决策转变，全面提升仓储运行效率与供应链协同能力。

在智慧物流环节，依托工业互联网平台构建厂内智能调度体系，将皮带运输、无人发酸、阴极铜自动发运及车辆定位、电子地图等应用融合，实现物料运输、车辆调度、监控发运全过程数字化协同。通过物流信息流与

实物流实时联动，提升物流运输效率和可视化管控水平。

在质量管控环节，建成覆盖原料检验、生产检测和产品质量管控的智能体系。检化验方面，建成全自动智能系统，实现样品自动传输、制样、检测及数据上传，提升检化验效率和检测精度。产品质量检测方面，引入机器视觉技术，建设阴极板、阳极板在线检测系统和模具智能检测系统，实现板面缺陷自动识别、质量智能判定及模具状态在线监测。依托协同应用，实现质量数据在线采集、分析与追溯，持续提升产品质量管控能力，阴极铜A级品率、硫酸优等品率保持行业先进水平。

在智慧环保环节，坚持绿色制造，建成覆盖火冶、化工、电解、渣选及公辅系统的环保管理平台，实现废气、废水、固废、噪声等全过程数字化管控。平台集成生产工况、在线监测和环保业务数据，构建监测、设备运行、隐患排查、应急等一体化体系，实现污染源实时监测、风险智能预警、隐患闭环整改和数据在线分析，推动环保管理由事后处置向全过程风险防控转变，有效提升环保合规管理和环境治理能力。

在智慧能源环节，建成覆盖水、电、风、汽、气、油等多介质的智慧能源管理平台，实现能源计划、计量、监控、统计和成本核算全过程数字化。依托能耗流向可视化、在线分析、平衡计算及异常预警等功能，对重点工序和关键设备用能进行实时监测和动态优化，实现综合能耗精准分析及碳排放精细化核算，推动能源管理由经验统计向数据驱动转变，持续提升能源利用效率。

在渣场管理环节，率先应用AI赋能的5G无人驾驶技术，打造集智能调度、无人运输、缓冷控制于一体的管理模式。依托激光雷达、毫米波雷达、高精度定位和5G通信等技术，实现缓冷渣场、渣堆场内抱罐车、装载机等大型工程车辆自主作业、智能避障和后台集中调度，结合渣包温度、缓冷时长等参数实施智能缓冷控制，实现运输与缓冷全过程智能协同，有效提升本质安全水平和运行效率。

在生产控制环节，围绕铜冶炼关键工序构建模型驱动的智能优化控制体系，开发闪速熔炼配料优化、“双闪”炼铜先进控制、阳极炉优化控制、极板转运优化调度、渣包优化调度、渣选过程优化控制、制酸过程优化控制等7个模型，深度融合先进过程控制（APC）、工艺机理模型与智能优化算法，实现生产调度、配料控制、工艺优化和能源利用全过程智能协同，推动关键参数实时优化、生产过程动态调优和状态精准控制，持续提升生产稳定性、资源利用率和铜冶炼智能化控制水平。

目前，全厂1 800余套自动化设备、数千套智能感知终端协同运行，形成覆盖主要生产工序的智能制造体系，有效提升了生产效率和本质安全水平。

全域数智决策赋能全业务链一体化数字化运营体系

依托统一数据底座和业财一体化平台，弘盛铜业打通生产、采购、销售、财务等业务数据链路，构建业财融合管理体系。基于动态量本利分析模型，实时关联产量、成本、价格、能耗等指标，动态测算产品盈利能力与经营效益，完成全流程成本分析与效益预测，为决策提供可靠支撑。同时结合人工智能与大数据分析，搭建智能决策系统，针对配料优化、生产协同、资源配置等场景开展分析输出辅助方案，推动管理从经验驱动转向数据驱动，实现各板块业务深度融合。

智能工厂的核心目标是打通全业务链条，实现一体化数字化运营。弘盛铜业依托统一工业互联网平台，贯通计划、采购、生产、仓储、销售全流程，建成协同运营体系。以市场需求为源头搭建产销一体化计划体系，打通市场预判到生产排程全链路，统筹全链条资源；以生产排程联动采购与库存，精准匹配原料供给与消耗；以统一计划整合火冶、电解、化工、渣选各工序，实现全厂生产一体化协同；结合产销双向需求打通原料、在制品、成品仓库数据，动态平衡库存，实现物料精准调度；针对阴极铜、硫酸等大宗产品，打通合同签订、发运与结算全流程，统筹长单与现货业务，全程可视化追踪货物运输，质量数据直接联动结算环节，灵活应对市场变化与客户差异化需求，推动销售从订单履约升级为客户价值运营。

依托统一数据标准、业务流程与集中管控机制，企业形成计划指导采购、原料保障生产、生产联动仓储、库存支撑外销、市场反馈计划的完整业务闭环，业务流、物流、信息流、数据流深度融合，实现经营全周期数据互通、业务联动、统一管控，全方位提升运营效率与供应链协同能力。

数绿融合赋能 打造行业示范标杆

弘盛铜业坚持数智融合驱动产业升级，深化智能制造与绿色制造协同发展，加快数字技术与铜冶炼全流程深度融合，构建覆盖生产运行、经营管理与运营决策的智能工厂管控体系。公司先后获评国家首批卓越级智能工厂、智能制造示范工厂、国家级绿色工厂、国家级绿色数据中心、绩效A级企业、5G全连接工厂等多项荣誉，智能制造水平、精益管理能力与运营效率持续提升。

未来，弘盛铜业将持续深化人工智能、大模型、数字孪生等新技术应用，加快推进智能运维、智能调度等场景建设，不断提升智能化水平，努力打造世界一流铜冶炼智能工厂，为我国有色金属工业高质量发展贡献更多力量。中

（作者单位：阳新弘盛铜业有限公司）

从“经验驱动”到“AI智造”

——广西华昇新材料有限公司创建卓越级智能工厂纪实

韦耐丽 | 文

在北部湾碧海蓝天之间，一座现代化的氧化铝工厂正在悄然改写一个传统高耗能产业的运行逻辑。

走进广西华昇新材料有限公司（以下简称“广西华昇”）的智控中心，巨大的电子屏幕上，上千个数据点如星辰般闪烁。溶出率、温度、压力、能耗……每一个关键指标都在实时跳动。青年员工梁仲柄轻点鼠标，AI系统便在3分钟内完成了一次溶出率的精准预测，并自动调整了工艺参数。

而在几年前，同样的工作，老师傅们需要每隔几小时奔赴现场取样，随后等待数小时的化验结果，再凭借多年积累的经验手动调节阀门。

“过去是‘人追着数据跑’，现在是‘数据推着最优解来’。”梁仲柄的这句感慨，道出了一场深刻的生产力变革。

2025年9月，工业和信息化部公布国家卓越级智能工厂名单，广西华昇凭借“氧化铝全过程智慧管控智能工厂”项目成功入选，成为全国氧化铝行业唯一获此殊荣的企业。这家投产仅数年的年轻工厂，究竟做对了什么？它的探索，又能为传统有色金属行业的智能化转型提供怎样的启示？

广西华昇智控中心

破局：在传承与创新之间寻路

时间回到项目筹建初期，一个现实的问题摆在面前：是沿着传统老厂的成功模式走下去，还是结合新的技术条件探索一条不同的路径？

传统氧化铝行业长期面临流程长、控制难、能耗高、经验依赖度深的现实。一条生产线动辄数百个控制点，任何一个环节的波动都可能影响最终产品的品质。而更棘手的问题在于——大量核心工艺依赖于老师傅长期积累的“手感”和“眼力”，这种经验既难以量化，也不易传承。

如果仅按传统模式建设，广西华昇可以成为一个达标的生产基地，但要面向未来的竞争，显然还需要更多准备。

广西华昇在建设期便按较高标准，有序推进覆盖全厂的工业光网建设，整合工控网、办公网和监控网，为海量数据的实时采集与交互打下了必要的物理基础。

在此基础上，广西华昇确立了“坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，贯彻新发展理念，践行数智华昇，增强创新动能，提升精益管理，推动高质量发展，建设一流企业”的行动指南，并在管理层面提出了“三化一提升”（标准化、生态化、智能化，提升核心竞争力）管理模式。

硬件先行、理念跟进，这种“先修路、再跑车”的布局思路，使企业自动化覆盖率达到90%，关键工序数控化率达到98%，有效打通了传统生产线中普遍存在的信息壁垒，也为后续的智能化升级提供了相对坚实的数据基座。

铸魂：让技术真正服务于生产

基础自动化解决了数据“有没有”的问题，而工业互联网与AI大模型则

决定了数据“用得好不好”。广西华昇的特点在于，不追求技术的新奇，而是让技术实实在在地融入生产工艺，围着生产转。

“智昇”大模型：从6小时到3分钟。这是广西华昇联合知名高校及科研机构，基于中铝集团“坤安”大模型研发的氧化铝行业首个大模型。它将生产参数从249个扩展到501个，可对溶出率、配矿方案等进行分钟级预测。原本需要6个小时的人工化验，如今AI仅需3分钟即可完成，预测准确率稳定在80%以上。据测算，“智昇”大模型每年可为企业创造千万元级的经济效益。

“铝艺智汇”：把老师傅的经验“装”进电脑。经验传承是传统工业的老大难问题。老师傅退休后，几十年的“手感”也随之流失。广西华昇打造全国首个氧化铝百科知识库“铝艺智汇”，采用“大模型+小模型”方式，将检修标准作业程序、故障案例、操作心得等转化为结构化知识，新员工通过对话式交互即可快速获取答案。应用后，知识获取时间缩短80%，培训效率提升90%，让企业的技术积累真正实现“可存、可用、可传承”。

智能巡检机器人：从“人找问题”到“问题找人”。在综合过滤区域，轮式巡检机器人24小时自动工作；在热电输煤皮带区域，集红外热成像与可见光技术于一体的防爆巡检机器人，实时监测设备“跑冒滴漏”和异常发热，发现问题自动报警。数据显示，智能巡检机器人使巡检频次减少75%，效率提升50%，高危区域人工作业频次降低80%以上，本质安全水平显著提升。

融合：绿色与智能的协同发展

卓越的智能工厂，不仅会算“经济账”，更会算“生态账”。广西华昇通过智能算法将绿色低碳目标融入每一个生产决策环节，探索出一条“智能+绿色”协同发展的新路径。

每一滴水都“精打细算”。广西华昇建设智能化水循环处理系统，建立全域智能计量网络，配套“节奖超罚”激励机制。工业水实现100%回用，生产废水零排放。2026年上半年，企业回收雨水73.5万吨，占新水用量的25.1%。吨产品新水消耗量降至1.1立方米，节约成本近90万元。

每一吨赤泥都“物尽其用”。广西华昇以“吃干榨净”为目标，构建“产、学、研、政、融、用”六维协同模式，联合科研机构，成功突破几内亚铝土矿赤泥选铁关键技术，通过持续优化工艺流程与提升分选效率，铁精矿产量显著提高，赤泥综合利用率超过35%，居行业领先水平，推动氧化铝生产从“资源消耗”向“循环利用”的绿色转型。

每一度电都“向绿而用”。广西华昇坚持以绿色低碳发展为引领，不断优化能源结构、提升能效水平。建成的行业首座水上光伏电站，创新盘活回水池闲置水面，既实现了空间资源的高效复合利用，又有效减少了水分蒸发，达到节能与节水的双重目标。同时，加大环保设施投入，采用先进工艺技术，热电、焙烧烟气实现超净、超低排放。通过多措并举，单位产品综合能耗降至266千克标准煤。

展望：从“卓越”迈向“领航”

面向“十五五”发展新阶段，广西华昇发展路径更加清晰、战略目标更加聚焦。公司将持续锚定安全绿色、成本极致、高端智能、创新引领“四个一流”建设目标，纵深推进智能制造落地应用，放大智能工厂示范辐射效应，全力打造世界一流氧化铝标杆企业。

立足中铝集团“建设世界一流矿业与有色金属集团”的战略目标，广西华昇不仅打造了智能化生产的标杆样板，更探索出一条传统铝产业数字化转型、智能化升级、绿色化提质的可复制、可推广高质量发展路径。企业正加速实现从“经验驱动”到“AI智造”的根本性变革，重塑传统生产模式、管理模式与经营思维，以数智力量破解传统产业发展瓶颈。

数智化从来不是最终目的。真正重要的是，企业能否在时代变化中，持续保持解决问题的能力、不断积累的能力和向上生长的能力。这或许正是广西华昇卓越级智能工厂故事背后，最值得行业深思的价值所在。中

（作者单位：广西华昇新材料有限公司）

广西华昇运维工程师在机房细致调试服务器设备，保障数字化系统稳定运行

云端之上 绿智融合

——云南文山铝业有限公司书写卓越级智能工厂的时代答卷

周沙沙 | 文

当第一缕晨光穿过洁净的玻璃窗，照进宽敞明亮的主控室，云南文山铝业有限公司（以下简称“云铝文山”）生产指挥中心巨大的数字孪生大屏上，千百组核心数据如繁星闪烁。跳动的电耗曲线、流转的AGV轨迹、实时映射电解槽内部的3D孪生模型，让这座扎根滇东南山区的铝企，站上了全国电解铝行业智能转型的第一梯队。

在全球制造业竞逐数字化高地的当下，电解铝行业面临着独特的挑战，高温、强磁以及高强度等因素，使得工艺控制如同“黑箱”。如何在保证安全环保的前提下，利用数字技术穿透这层“黑箱”，实现极致能效与绿色制造？云铝文山给出了自己的答案，以“5G+工业互联网”为基座，以AI数字孪生为核心，重构全链条生产管理模式。

从石漠化荒山上的国家级绿色矿山，到入选国家首批卓越级智能工厂；从单纯的能耗大户，到国家级“水效领跑者”，云铝文山用实际行动证明，有色金属行业的未来，必然是绿色与智能的双轮驱动。

云铝文山电解智能制造中心主控室

数字筑基：编织全域感知的“工业神经”

在云铝文山，数字化不是悬浮概念，而是扎根实体的坚实底座。走进厂区，30座5G专网基站构建起高速、泛在、安全的工业神经网络，彻底打通了从铝土矿开采到铝锭产出的全链路数据流，彻底打破各生产系统间的信息壁垒。

自2022年起，云铝文山联合中铝智能科技发展有限公司、中铝视拓智能科技有限公司建成企业级工业互联网平台与数据中台，对覆盖采矿、电解、铸造等全流程的2 000余个核心生产测点统一数据采集标准，将MES、ERP、能源管理等异构系统数据汇入工业大数据湖。

依托“5G+GIS”高精度定位技术，厂区内的每一辆抬包车、每一台阳极拖车都拥有了数字坐标，“天眼系统”实时监控全域安全。“5G+VR”安全培训体验馆让工人在虚拟现实中体验事故后果，这种沉浸式的教育模式，让安全意识从“被动灌输”变为“主动敬畏”。

“这套架构不是简单的软硬件堆砌，而是业务流程的深层再造。”云铝文山信息化业务副经理张礼伟介绍，该平台已作为成熟方案在中铝集团多家同类型电解铝企业复制推广，为行业解决“数据孤岛”问题提供了通用模板。

AI赋能：解码电解“黑箱”的智慧大脑

电解铝生产是典型的“黑箱”工艺，槽内高温多相反应无法直接观测。

过去，电解工需佩戴厚面罩靠近900℃电解槽，靠观察火苗颜色、辨别电弧声响来判断工况，即便有数十年经验的老师傅，也难以应对深夜槽况突发的异常波动。

如今，云铝文山联合郑州研究院、中铝数为（成都）科技有限责任公司研发的国内首套铝电解AI计算数字大模型，中控室AI模型可精准模拟槽内“电—磁—热”耦合变化，提前半小时推送最优调控参数，过去需半天完成的调整，现在轻点鼠标即可完成。

该模型将物理化学机理与机器学习、深度学习算法深度融合，构建了槽况健康评估、关键参数预测、运行参数匹配、区域效应分析控制等核心模型，如同24小时值守的“AI工艺专家”，持续解析海量生产数据。

“很多人固有的印象里，电解铝还是那个‘傻大黑粗’的行业。”电解生产中心经理陶光平指着屏幕上的动态曲线介绍，“现在，我们吨铝液综合交流电耗、阳极毛耗、氟化盐单耗均处于行业领先水平，AI模型提前预判槽况、自动推荐参数，真正让每一度电都产生最大价值。”从“经验驱动”到“数据驱动”的跨越，不仅破解了设备与控制系统互联互通的行业共性难题，更填补了国内技术空白。

机器换人：重塑绿色制造的作业场景

绿色智能化的核心在于以人为本。在铸造车间，过去高温炙烤、人工往返搬运的场景已彻底消失，取而代之的是“少人化、无人化”的现代作业模式。

“以前这个岗位劳动强度高、安全风险大，作业环境也艰苦。”铸造车间作业长周忠富指着身后码放整齐的铝锭介绍，“现在自动堆垛机器人24小时精准作业，3100轮式铸造机搭载AI视觉+光学反馈智慧系统，彻底告别了过去‘人眼紧盯、凭经验手动调节’的老路子，工人劳动强度大幅降低，车间环境也得到根本改善。”

云铝文山智能工厂建设——堆垛机器人

在不远处的组装车间，曾需人工高空作业的炭块堆垛天车已实现5G无人驾驶，操作人员减少三分之二，作业效率提升三倍，彻底消除了高空作业安全风险。铝土矿原料场的智能采制样系统实现全流程无人干预，既保障了数据的真实性，也避免了人工采样的安全隐患。

这些智能装备不仅是生产工具，更是绿色执行的终端。无人天车的高精度定位减少了物料碰撞损耗，自动焊接机器人保证了工艺质量的零缺陷，从根源上降低了返工带来的能源浪费。截至目前，云铝文山已实现16个岗位无人化、8个工序远程集中控制，劳动生产率突破812吨／人·年。工人从一线操作岗转向巡检、分析岗，本质安全水平与环保绩效同步提升。

绿能循环：数智驱动的全要素低碳转型

卓越级智能工厂的“卓越”，不只体现在生产效率上，更是贯穿全生命周期的绿色低碳逻辑。云铝文山将数字技术嵌入能源管理、资源循环、生态修复全环节，构建起闭环绿色生态。

在能源侧，数字化平台实现了对厂区光伏、电网供电的精准调控。利用厂房屋顶和边坡建设的分布式光伏电站，通过智能微网技术优先消纳绿电，持续压降碳排放因子。

在资源侧，攻克了氧化铝工序乏汽回收技术，并连续两期获评国家级“水效领跑者”，生产废水100%处理后回用，实现零外排。

在矿山端，坚持“边开采、边复垦”，累计投入5 000余万元，利用遥感与GIS技术监测复垦进度，完成生物复垦5 300余亩，将昔日的石漠化荒地变成了绿水青山。

从“制造”到“智造”，从“高碳”到“低碳”，云铝文山用数智化转型的生动实践，回答了有色金属行业高质量发展的时代命题。当前，云铝文山已启动多智能体协同生产、铝工业垂直领域大模型应用等新布局，正向着行业最高等级——领航级智能工厂加速迈进，以实际行动打造工业绿色智能转型的“中铝样本”。

（作者单位：云南文山铝业有限公司）

豫光集团 智能化转型引领高质量发展

段高高 | 文

在巍巍太行山脚下、滔滔黄河水畔，一场深刻的智能化变革正在河南豫光集团有限公司（以下简称“豫光集团”）如火如荼地进行。2025年10月，工业和信息化部公示年度卓越级智能工厂项目名单，豫光集团“有色冶炼全流程一体化智能工厂”项目成功入选，成为全国有色金属行业智能化建设的标杆。公司正以创新为墨、智能为笔，书写着传统产业转型升级的精彩篇章。

豫光集团数智中心

战略引领 绘就智能化发展蓝图

面对新一轮科技革命和产业变革，豫光集团积极响应国家号召，将数智化转型作为企业高质量发展的战略选择。

2025年，被豫光集团确定为“数智化发展元年”。公司党委明确指出：“数智化转型是企业适应数字时代、提升核心竞争力的必由之路，是优化产业布局、建设现代产业体系的必由之路，也是豫光占领未来发展制高点、打造数智化建设新高地的必由之路。”

豫光集团高标准制定《数智化发展三年规划（2025-2027）》，明确“1368”数字化转型战略：坚持一个核心目标——建成全国标杆智能化工厂；紧扣创新驱动、资源配置、创造价值三大主攻方向；推动产业能级、应用场景、数据治理、融合赋能、数据价值、服务效能六大跃升；实施数字核心技术提升等八大攻坚行动。规划总投资4.85亿元，系统构建以产业数字化为核心的现代化经济体系。

AI赋能 打造智能制造新引擎

豫光集团将人工智能技术深度融入生产制造全流程，打造了一系列行业领先的AI应用场景，为企业转型升级注入新动能。

在质量检测领域，豫光集团创新应用锌锭表面质量智能分析系统。该系统基于机器视觉和深度学习算法，建立不同缺陷的废锭模型，实现对锌锭产品表面浮渣、平整度、裂纹、厚度等缺陷的精准识别与分类。通过高速相机对生产线上锌锭产品逐一采集，将图像传输到工作站进行算法处理，最终识别出锌锭是否为废锭，并将结果实时反馈给控制系统做废锭剔除处理。这项AI视觉系统实现了非接触式质检，终结了传统依赖人工经验判断的模式，成为行业首创。系统缺陷检测准确率达95%以上，规模化应用后，产品缺陷率从人工检测的5%降至1%以下。

在生产过程优化方面，电解槽红外热成像短路在线检测设备展现了人工智能技术的强大威力。该设备由双光谱红外成像测温仪和电解槽极板故障检测与分析系统组成，通过双光谱红外热成像摄像机遥测获取极板表面的红外辐射图谱和温度，经过5G无线传输到后台，利用数据模型软件深度算法、智能AI技术、图像分析技术等及时判断现场电解槽极板短路和发热位置，精度可达到单个极板。这项技术深度融合5G、工业物联网、人工智能与先进传感技术，构建了有色冶炼电解过程的“感知—分析—判断—预警—显示—

控制”一体化智能监管体系，填补了行业在实时性、精准度与智能化方面的技术空白。

在设备智能管控领域，AI撕碎机物料动态检测系统成为亮点。该系统能准确识别出3 000多种异常状态，使设备从点对点逻辑判断升级到全方位的智慧思考。通过对摄像头位置、短路算法的不断优化，解决了阳极“大耳”、铅板导热性、环境温度、空气对流对检测准确度的影响，最终识别准确率达到90%以上。一个案例成功后，多个案例接连实施，依靠人简单思维可以判断的工作逐步交给AI操作工来完成。

人工智能技术的广泛应用带来了显著效益。红外查槽系统每30分钟对整个车间巡检一次，发现短路及时推送，点检效率提升约66.67%；短路率由3%下降到0.5%，一次电解产品合格率提升约1%，电效提升1.2%～1.3%。AI技术的深度应用，不仅提高了生产效率，更实现了产品质量的跨越式提升。

创新实践 打造全流程智能化体系

豫光集团以“智能生产＋智能管理＋智能决策”三层架构为基础，深度融合工业互联网、大数据、5G、人工智能和数字孪生等新一代信息技术，构建覆盖原料、生产、物流、回收全流程的数字化体系。

在智能生产层面，豫光集团率先在行业内打造5G专网智慧园区，建设数智中心作为企业的“数字大脑”。玉川厂区采用无人驾驶自动行车实现阴阳极同时出装，精准定位、平稳运行，降低了对操作技能的要求。成品自动线应用实现了铅锭码垛、打包、称重、贴标全过程自动化，两套机组每班减少打包计量工3人。

在智能管理层面，集团构建了“1+10+20+N”创新平台体系，打造大数据平台和有色冶炼工业互联网平台“双底座”，实现数据驱动业务优化。通过钉钉数据报表系统，实现全员共填一张表，不同权限、不同操作、数据高效流转。粗铅搭配、电解作业计划测算等传统依靠人工经验的工作，现在全部由系统自动生成，提高了生产计划的科学性和精准性。

在智能决策层面，豫光集团基于大数据系统构建决策支持体系，实现市场预测、盈利分析、生产分析、质量分析、成本分析等应用。数据治理成果显著，核心业务数据一致性与完整性提升至95%以上，数据价值贡献率提升30%。

成效显著 多项指标行业领先

豫光集团智能化建设取得了显著的经济效益和社会效益。

生产效率大幅提升。与2023年相比，玉川厂区电铅月均产量增长一倍，人均劳效增加500多吨，吨铅成本节约近40元。全员劳动生产率提高48.64%，设备综合利用效率提升21.88%，库存周转率提高38.59%，资源综合利用率提高5.26%，节能效能提高16%，产品研制周期缩短45%，不良品率下降4.8%，年创效逾亿元。

质量水平显著提高。析出铅含铋维持在5ppm左右，远低于国标15ppm；电解铅含铋稳定在5ppm以下，产品质量达到国际先进水平。通过智能化改造，全面提升车间生产、安环管理水平，对标行业优秀指标，降低职工劳动强度，提高生产效率。

安全保障更加可靠。通过打造现场自动巡检功能和全流程管控闭环，安全隐患整改率达100%，公司本质安全水平全面提升。通过自动化减人、机器换人等方式，危险作业岗位人员减少60%以上，大幅降低了安全风险。

绿色发展成效凸显。通过数字化能碳管理系统，对企业能耗、溶剂、含碳产品等数据进行采集，开展碳排放数据分析，优化能耗指标，节能降耗，降低企业经营成本。生产过程的精细化管理和节能减排措施，降低了能源消耗和污染物排放，提高了资源利用率，为保护生态环境贡献力量。

智向未来 向世界一流智能工厂迈进

豫光集团在智能化建设中坚持“五个率先”：率先建成了国内最具智能化的铅电解生产车间，树立智能电解行业新标杆；率先开展工业大数据平台和工业互联网平台“双平台”建设，推动园区内外企业数据安全流通；率先打造智慧物流系统，工作效率提升30倍；率先引进AI智能化系统，产品质量全面提升；率先打造行业首个锌熔铸智慧产线，劳动效率提升了60%，年创效逾千万。这些创新实践为有色金属行业提供了可复制、可推广的智能化解决方案。

展望未来，豫光集团将以获评国家卓越级智能工厂为新的起点，稳步推进数智化发展三年规划，朝着建设领航级智能工厂的目标迈进。

按照规划，到2028年，豫光集团数字化基础和信息化支撑将明显增强、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、产品服务持续强化，初步建成技术先进、系统完备、安全高效的数智化工厂和数字化管控体系。

豫光集团数智化发展部部长翟元元表示：“我们将持续深化数智赋能，全力打造行业数字化标杆，为公司高质量发展注入新动能！”

新时代呼唤新担当，新征程需要新作为。豫光集团将继续保持战略定力，以数字化转型为抓手，加快构建现代化产业体系，努力打造具有全球竞争力的世界一流有色金属企业，为中国式现代化建设贡献豫光力量！中

（作者单位：河南豫光集团有限公司）

数智赋能全链升级 匠心打造钨业标杆

——崇义章源钨业股份有限公司卓越级智能工厂建设实践

谢峰 | 文

崇义章源钨业股份有限公司（以下简称“公司”）地处“世界钨都”——江西赣州，是集钨矿探采选、冶炼制粉、硬质合金精深加工于一体的钨产业链企业。依托长期的技术积淀、生产经验与数字化投入，公司凭借“钨生态全产业链一体化管控智能工厂”于2025年成功入选国家卓越级智能工厂，实现了由传统经验驱动制造向数据驱动智能制造的跨越升级，为钨行业高质量推进数字化转型提供了可复制、可推广的实践样本。

锚定转型方向 构建数智制造发展战略

多年来，公司坚持“自主创新、数智引领、链式赋能”的发展思路，分阶段、分梯度推进数字化、智能化建设，构建了清晰的转型战略与实施路径。2008年，公司上线ERP系统，率先实现财务、供应链等管理模块的信息化运转。2015年，公司上线制造执行系统，打通生产与管理环节的数据链路，初步实现生产、人力、财务、供应链的一体化管控，为数字化转型筑牢基础。

面对钨产业工序分散、设备类型多、工艺参数调控精细要求高、跨车间协同难度大等行业痛点，公司于2020年制定数字化转型专项规划，确立了“生产装备智能化、生产过程自动化、生产管理信息化”三大核心目标，提出打造“数字章源、智慧章源”的总体发展方向。在这一规划下，公司采取了“自主研发为主、外部合作为辅”的技术路线，同步布局5G、物联网、数字孪生等新型基础设施。2022年，公司联合通信企业完成厂区5G专网全覆盖，有效解决车间移动设备数据传输、远程操控、高清视频回传等难题，搭建起智能工厂的网络底座。

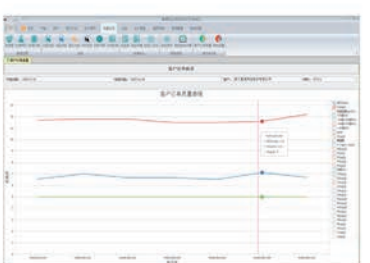
公司坚持“政产学研用”深度融合，依托完备的研发平台与人才梯队，为智能工厂持续迭代提供技术支撑。截至2025年底，公司拥有技术研发人员442人，其中，硕士及以上学历人员67人；拥有授权专利500余件，其中，发明专利200余件，主持和参与制定国家标准、行业标准40余项，荣

ZW-MES软著

IoT移动工作台

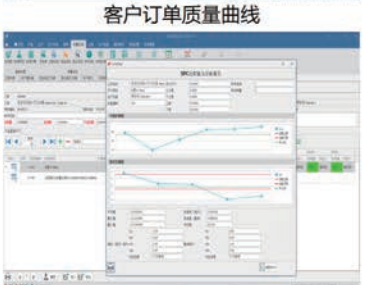
IoT设备数采

ZW-MES系统


客户订单质量曲线

移动端送检与标签打印

设备作业排程


SPC质量分析

获“国家科学技术进步奖二等奖”“江西省科学技术进步奖一等奖”等省部级以上科技奖。

聚焦核心场景 落地多元化智能技术应用

公司围绕生产制造、质量检测、仓储物流、现场管控四大核心场景，将自主工业软件、智能装备、数字孪生、AI检测等技术深度落地，打造出一批适配钨产业的应用场景。

自研工业软件，匹配行业专属生产流程。公司自主研发的ZW-MES制造执行系统，深度贴合钨产业生产逻辑，全面覆盖车间生产调度、工序流转管控、生产过程质量追溯、现场生产数据采集等全业务场景，可根据不同生产线的工艺要求灵活调整功能模块。目前，该系统已应用于公司各生产车间，实现生产计划实时下达、工序进度实时追踪、工艺参数在线调控，并向分子公司及本地同行业输出赋能，成为本地有色金属企业数字化升级的典型示范。

数智装备融合，打造无人化、少人化生产车间。依托5G专网与物联网技术，公司完成了生产车间设备智能化改造，关键生产设备联网率保持较高水平。在冶炼、制粉等作业环节，推广自动化设备与智能巡检系统，设备巡检由传统人工定点排查转变为数据实时监测+智能预警模式，设备异常巡检响应速度得到提升，漏检率大幅下降。在物流环节，5G+AGV智能调度系统实现车间物料全自动转运，推动生产物流向无人化转型。公司搭建的3D数字孪生平台，通过对厂区、主要生产车间进行三维建模，将设备运行数据、生产状态、环境参数等实时映射至虚拟场景，实现“虚拟仿真+现场管控”一体化管理。

智能检测赋能，筑牢产品质量管控防线。公司建有通过中国合格评定国家认可委员会(CNAS)认可的专业检测部门，配备全产业链全套分析检测仪器，可开展粉末物理性能、金相检测、电镜分析等100余项检测项目。通过引入AI金相分析系统等智能检测设备，替代传统人工目视判定模式，提升检测效率与数据的一致性、稳定性。检测数据同步对接ZW-MES系统，形成“生产—检测—分析—优化”的闭环管理，为工艺持续改进提供有力数据支撑。

打通数据链路 实现全系统深度集成

面对普遍存在各系统相互独立、数据孤岛等问题，公司以ZW-MES系统为核心，推动ERP、PLM、能源管理系统、质检平台、数字孪生平台等多套系统深度集成，构建统一的数据中台，实现全厂区数据“一数一源、全域共享”。

在数据采集端，生产设备、检测仪器、物流装备、环保监测设备等终端数据通过物联网、5G网络实时上传至数据中台；在数据应用端，生产管理人员通过PC端、移动端随时调取生产进度、工艺参数、产品质量、设备状态、能耗数据等信息，生产报表由传统人工汇总转变为系统自动生成，大幅缩减统计耗时，管理决策从“事后复盘”转向“实时研判”。

全系统集成有效打通上下游业务协同，借助一体化数字体系，公司可快速对接客户订单需求并实现自动排产，订单交付周期稳步缩短；同时，生产、质检、溯源数据可同步共享至下游合作企业，产业链协同效率得到提升。

聚焦降本提质 彰显智能工厂综合价值

经过持续建设与迭代优化，卓越级智能工厂的综合效益逐步释放，在提质、降本、增效、安全、绿色等多个维度取得显著成果。

产品质量稳步提升。全流程数字化管控实现原料投料差错率降至低位，物料全流程可追溯覆盖率达100%；智能检测系统、自动化生产设备的应用，推动核心产品合格率持续优化。一线员工逐步从简单操作转向设备运维、数据分析、工艺优化等技术岗位，人力资源价值进一步释放。

成本管控持续改善。自动化与智能化改造降低了重复岗位的人工投入，系统流程的简化，使仓储、统计、办公等环节的运营成本降低；通过大数据分析优化工艺参数与设备运行模式，单位产品能耗稳步下降，实现降本增效与绿色制造的协同发展。

产业带动效应明显。作为江西省制造业重点产业链链主企业，公司自主研发的ZW-MES系统已成功应用于本地同行企业，智能检测、数字孪生等成熟方案也为区域中小企业提供了可借鉴的转型路径，充分发挥了链主企业的示范带动作用。

回顾智能工厂建设历程，公司形成三条经验：一是立足主业自主研发，依托自身工艺积淀开发行业专属技术与软件，避免通用技术“水土不服”；二是分阶段稳步改造，遵循“先夯实基础、再拓展应用”的原则，从单一工序数字化逐步过渡到全工厂智能化，降低转型风险；三是坚持链式协同发展，不仅实现自身升级，并且主动分享经验、输出技术，带动区域产业链共同进步。

未来，公司将继续围绕智能工厂迭代、工业软件升级、产业链赋能三大方向持续发力，不断探索智能制造新模式、新应用，与钨行业同仁携手推动我国有色金属产业朝着智能化、绿色化、高端化方向稳步前行。中

（作者单位：崇义章源钨业股份有限公司）

数智赋能 “碳”索未来

——索通发展股份有限公司卓越级智能工厂炼成记

张丹丹 | 文

“数智化不是选择题，而是生存题。”这句话，刻在了索通人的基因里，也是近年来每一位索通人岗位奋斗的日常。

走进索通发展股份有限公司（以下简称“索通发展”）山东临邑生产基地，你才真正读懂这句话的分量：中控大屏上，AI算法正为焙烧炉自动匹配最优升温曲线；无人天车在成品库上空精准穿梭，机器人代替人工完成清理；智能混配系统根据原料大数据动态寻源，让成本一降再降……这里没有传统炭素工厂的粉尘与喧嚣，只有数据无声地流动，驱动着每一道工序的精准运转。

2025年，这座工厂入选国家卓越级智能工厂，成为预焙阳极行业唯一获此殊荣的企业。它用一场刀刃向内的数智革命，回答了那道“生存题”，并且交出了一份高分答卷。

索通发展位于山东临邑生产基地

战略领航：从“C+战略”到“科技索通”的数智跃迁

索通发展的数智化转型，是一场有备而来的长期主义实践。公司自创立之初便持续探索自动化生产，近年来更是加速推进。真正的系统性变革，始于2022年“C+战略”：“双驱两翼，低碳智造”的提出，将数智化作为核心支撑。2025年，公司战略进一步升维至“科技索通”，确立“双驱两翼、科技领先、效率驱动、全球突破”四大战略主轴，其中“效率驱动”的核心，便是打造“1个智能总部+N个低碳智能工厂”的数智化体系。

“让数据成为新燃料”，以算法重构制造。在这一战略共识下，索通发展以山东临邑生产基地为试点，系统推进智能工厂建设，逐步形成了覆盖研发、采购、生产、质量、能源、安环、供应链的全链条数智化生态。

2025年9月，工业和信息化部公布2025年度卓越级智能工厂项目名单，索通发展凭借“高精铝用阳极工艺动态优化智能工厂”项目成功入选。该项目实现了从底层自动化到顶层决策的全链路智能化升级，成熟度达到国家《智能制造能力成熟度模型》（GB/T 39116–2020）三级标准。

智造场景：AI算法+全流程自动化，让工厂“会思考”

走进山东临邑生产基地的一线车间，最直观的感受是“无人”与“精准”。这种变化的背后，是一系列行业首创的数智化技术落地。

1.石油焦智能集采与混配系统：让成本与质量不再“两难”

石油焦是预焙阳极的核心原料，其品种、微量元素含量直接影响阳极质量和成本。传统模式下，原料采购依赖经验判断，掺配靠人工计算，波动大、效率低。索通发展依托庞大的采购体量和多基地优势，开发了“石油焦智能集采与混配系统”，将历年数千条检验数据、生产参数和成本模型输入AI算法，实现原料采购建议、自动寻源、最优掺配方案的一键生成。

2.“5+1”全要素数智生产底座：打通数据孤岛

过去，生产执行、工艺管理、设备运维、能效监控、安环保障五个系统各

自为政，数据不通、决策滞后。索通发展构建了基于工业物联网的“5+1”全要素数智生产底座：底层将全厂主要生产设备接入统一网络，实时采集温度、振动、电流等数万个参数；上层通过MES、PLM、APS、LIMS等系统深度集成，实现从工艺设计到生产执行、从质量检测到设备预防性维护的闭环管理。

这一底座使生产计划响应效率显著提升，设备故障实现提前预警，质量数据全流程可追溯。

3.AI赋能核心工序：“机器换人”与“工艺优化”双突破

在成型、焙烧等高危或关键工序，索通发展大规模应用智能装备：自动取样机器人替代人工频繁进出高温区域；无人堆垛天车实现生坯自动编组、存储；智能清理机器人精准去除生坯毛边……既降低了安全风险，又提升了作业一致性。

更核心的是，公司将AI算法嵌入工艺控制。在焙烧工序，系统根据实时温度、负压、烟气成分等参数，自动调整空燃比和升温曲线，使产品质量稳定性显著提升。在成型工序，AI模型动态优化混捏温度、振动频率，生坯外观合格率稳定在95%以上，达到行业领先水平。

数据贯通：从“经验管理”到“数字决策”

智能工厂的“智能”，不仅在于设备自动运行，更在于数据驱动决策。索通发展通过打通ERP、MES、PLM、LIMS、能源管理、设备管理等系统，构建了“经营驾驶舱”和“生产指挥舱”。

日成本系统：过去成本核算按月进行，滞后且粗放。现在，系统每天自动归集原料消耗、能源单耗、人工工时等数据，生成当日成本报表。管理者可实时发现异常波动，及时调整。

质量全流程追溯：每一块阳极从原料批次、混配比例、成型参数到焙烧曲线，全部记录。一旦客户反馈问题，可快速追溯到生产工单、责任人、设备状态，实现精准归因和快速改进。

智能排产（APS）：系统综合订单交期、各基地产能、原料库存、物流条件，自动生成最优排产方案，显著缩短订单交付周期。

2025年，山东临邑生产基地的实践表明，数智化使生产效率、产品良率和能耗水平均得到显著优化。

绿色智造：数智化与低碳化“双轮驱动”

作为全球预焙阳极行业领军企业，“低碳智造”一直是索通发展作为长期践行的使命和追求。

能源管理平台：实时监测各工序电、气、水消耗情况，自动分析能耗热点，推送优化建议。2025年，索通发展余热发电量43.9万兆瓦时，占总电力消耗量70%以上；光伏发电量766万千瓦时，中水回用率超84%，固废循环利用率95%以上。自2020年开始，索通发展逐年持续提高了绿色电力消费比例：分布式光伏项目由山东向云南、广西铺开。嘉峪关基地2025年核销绿证2.8万余张，相当于减少约1.5万吨二氧化碳排放。截至2025年，索通发展已拥有国家级绿色工厂3家、省级绿色工厂2家。

科技创新是发展新质生产力的核心驱动力。索通发展积极推动低碳阳极材料、数字化模拟技术及新型材料改性技术的研究与应用，强化节能降碳效果，推动绿色制造体系持续升级。公司主导研发的高精铝用低锌阳极、低“铁—炭”接触电压降阳极、全生命周期开槽阳极、复合磷生铁改性剂技术、节能钢爪数字模拟技术、铝电解槽三场测试与优化、铝工业含氟固废全资源化增值利用技术，为国内外高精铝及绿铝需求客户贡献了产品+低碳技术服务的“索通方案”。其中复合磷生铁改性剂技术在多个铝厂完成验证，成效显著：降低铁—碳压5～15mV，较传统配方降低约50%，节约吨铝电耗可达50kWh，经济效益显著。

经验共享：从“单点突破”到“多基地复制”

山东临邑生产基地的成功，迅速在索通体系内推广。公司总结提炼了“SOS索通运营系统”，将山东临邑生产基地的标准化作业流程、工艺参数模型、设备管理规范固化为可复制的模板。目前，已经完成4家基地的智能化应用覆盖，“1个智能总部+N个智能工厂”（索通发展1+N数智化战略）协同网络正在逐渐铺开。

更为重要的是，索通发展将数智化能力向外输出：与下游客户共享排产数据，实现“按需生产、准时交付”；与上游供应商打通库存数据，推动VMI（供应商管理库存）模式。这种全价值链数智协同，正在重塑炭素行业的竞争规则。

索通发展用二十余年时间书写了一部炭素行业的奋斗史。而今天，以山东临邑生产基地“卓越级智能工厂”为标志，索通正开启从“制造”向“智造”的新篇章。这不仅是企业自身的跃迁，更是中国有色金属行业以新质生产力引领全球绿色低碳转型的生动实践。

未来，索通将数智化能力与“全球突破”战略结合，在海外基地复制中国智能工厂标准。数智化是一场没有终点的马拉松。索通发展将持续以“科技索通”为指引，让每一块阳极都承载智慧，让每一次“产品+服务”都创造价值。中

注：本文行业数据引自国家统计局，工业和信息化部，索通发展2025年报、ESG报告等公开信息。

（作者单位：索通发展股份有限公司）