

江苏省纳米金属行业
智能化改造数字化转型网络化联接
实施指南

二〇二五年五月

指导单位

江苏省工业和信息化厅

编写组成员

江苏纳美达光电科技有限公司：范江峰、顾凯、李鑫、季茸、
李学文、秦芮溟

目 录

一、背景与现状.....	1
1、指南范围.....	1
2、行业概述.....	2
3、行业智改数转网联现状.....	5
二、目标与架构.....	7
1、总体目标.....	7
2、实施架构.....	8
三、基础能力.....	10
1、网络基础设施能力建设.....	10
2、数据采集能力建设.....	12
3、信息系统能力建设.....	15
4、信息安全能力建设.....	21
四、环节与场景.....	28
1、产品研发设计.....	30
2、工艺设计.....	33
3、质量管控.....	35
4、营销管理.....	39
5、计划调度.....	42
6、生产作业.....	45
7、仓储物流.....	48

8、设备管理.....	51
9、安全能源环保管控.....	55
五、路径与方法.....	59
1、实施路径.....	59
2、相关政策.....	66
六、愿景与展望.....	79
附件 1 人工智能典型应用场景.....	83
附件 2 投入改造清单及图谱.....	93
附件 3 典型案例.....	204
附件 4 服务商清单.....	235
附件 5 技术缩略语.....	238

一、背景与现状

1、指南范围

江苏省纳米金属行业智能化改造数字化转型实施指南适用于省内纳米金属研发及生产企业。通过智能化技术应用与数据要素融合，重点推进纳米金属材料的高精度制备工艺优化、跨尺度结构性能表征及全生命周期质量追溯，着力破解纳米金属研发周期长、工艺稳定性不足、批量化生产难等瓶颈问题。一是强化研发与制造协同，针对实验室研发、中试放大及量产等不同阶段，构建基于数字孪生的虚拟仿真平台，实现微观结构模拟与宏观性能预测的闭环迭代；二是聚焦纳米金属粉体制备、成型加工、表面处理等核心环节，推动智能传感、机器视觉、自适应控制等技术的深度集成，提升工艺参数自优化能力和设备状态实时诊断水平；三是建立覆盖原料溯源、工艺参数、检测数据的全流程数据库，打通研发端与生产端的数据壁垒，形成从材料设计到终端应用的数字化解决方案体系。四是为我省纳米金属行业智改数转网联诊断工作提供标准支撑，推动诊断工作走深向实。

本指南重点围绕产品研发设计、质量管控、生产作业、仓储物流、设备管理等领域，利用 5G、工业互联网、人工智能、大数据等新一代信息技术，整合设备数据资源，汇聚各环节数据，打破信息孤岛，实现材料研发数字化、生产过程智能化、产业链协同网络化。通过部署实现生产过程的实时数据采集与分析，运

用机器学习算法挖掘工艺参数与材料性能的关联规律，建立多尺度跨介质的智能决策模型。同步推进研发数据与生产数据的标准化接入，打造涵盖实验室管理、工艺仿真、智能排产的数字孪生系统，推动“材料基因工程”与智能制造深度融合。推动企业实现纳米金属材料从定制化研发到智能化制造的范式变革，促进江苏省纳米金属行业高质量发展。

2、行业概述

(1) 纳米金属概述

纳米金属是指尺寸在 1-100 纳米范围内的金属材料，其原子排列介于晶体与非晶态之间，呈现出独特的表面效应、量子效应和小尺寸效应。这类材料因结构特殊性，展现出与传统金属截然不同的物理化学性质，例如纳米铜在室温下具有超塑延展性，纳米银兼具高导电性和抗菌性能，而纳米铁、钴等在高密度磁记录和吸波材料领域表现卓越。其应用覆盖电子信息、生物医药、能源环保等关键领域，如纳米金属粉末可提升催化剂活性，纳米银线用于柔性显示技术，纳米镍粉作为火箭燃料助燃剂等。

按照维度可将纳米金属分为以下几类：

零维材料（如纳米颗粒、原子簇）：以球形或类球形为主，具有显著的量子限域效应，表面原子占比高，催化活性强，常用于催化剂。

一维材料（如纳米线、纳米管）：具有长径比大的线状结构，

如纳米银线则凭借高透光性和耐曲挠性广泛应用于柔性显示屏幕及透明导电薄膜。

二维材料（如纳米薄膜、超晶格）：厚度为纳米级的层状结构，如银纳米膜在光学涂层和传感器中表现优异，其等离子体共振效应可调控光吸收与散射。

（2）国家层面纳米金属行业现状

纳米金属行业作为新材料领域的关键战略方向，始终以习近平总书记关于“科技现代化是中国式现代化的重要支撑”“抓创新就是抓发展、谋创新就是谋未来”的重要论述为指引，在党中央关于“加快实现高水平科技自立自强”的战略部署下实现跨越式发展。政策支撑方面，我国高度重视纳米金属行业发展，《前沿材料产业化重点发展指导目录（第一批）》《新材料中试平台建设指南（2024—2027年）》等文件将纳米金属材料列为重点发展对象，推动产业向规模化、高端化迈进。技术创新方面，纳米金属制备技术持续优化，液相还原法、气相沉积法等工艺推动粒径从50纳米降至30纳米以下，纯度与环保性提升；浙江大学通过相工程实现单晶金纳米片6.0 GPa强度突破；中科院金属所开发纳米孔弥散强化技术，使材料在减重同时提升强度与塑性；江苏科技大学郭伟教授构建的梯度纳米结构模型推动材料抗疲劳性能提升300%。市场规模方面，全球纳米金属行业呈现“寡头竞争”格局，巴斯夫、杜邦等国际巨头占据约28%市场份额；我

国纳米金属行业近年来积极响应习近平总书记“面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康”的“四个面向”要求，在新能源、航空航天、生物医药及电子器件等高端领域取得重大突破，2023 年市场规模达 550 亿美元、同比增长 30%，纳米磷酸铁锂、纳米银材料等核心产品成功打破国外垄断，德方纳米、天奈科技等领军企业通过自主创新挺进全球产业链核心环节。然而，纳米金属行业在发展过程中也面临诸多挑战，高端产品供给不足与低端产能结构性过剩并存，核心制备技术对外依存度高，例如高纯度纳米金属粉末等仍依赖进口，部分企业因研发投入不足导致同质化竞争严重。

（3）江苏省纳米金属行业现状

江苏省高度重视纳米金属产业发展，《江苏省“十四五”制造业高质量发展规划》将纳米材料列为重点发展方向，并将纳米材料纳入全省 50 条重点产业链，苏州、常州等地出台地方性政策，通过设立产业基金、贷款贴息等措施推动纳米金属技术研发与应用，全省纳米材料专利申请量连续六年居全国首位，逐步形成了“基础研究-技术开发-产业转化”的完整链条。在基础研究方面，中科院苏州纳米技术与纳米仿生研究所、江苏省高性能纳米金属粉体工程技术研究中心、苏州大学功能纳米与软物质研究院等核心研究机构，围绕高性能纳米金属粉体材料、纳米金属催化等方向开展前沿攻关，取得多项突破性成果。技术开发层面，

苏州工业园区建成全球首个纳米真空互联实验站，实现纳米金属材料“生长-加工-测试”全流程集成创新，江苏昱懋纳米研发的无毛刺分切装置攻克超薄金属带材加工难题，江苏科技大学郭伟教授团队首创梯度纳米结构理论模型并通过国际合作推动高强钛合金产业化。产业转化方面，江苏省集聚纳米金属相关企业近2000家，诺菲纳米科技、天合光能等企业通过与研究机构紧密合作，推动纳米银线材料、纳米光伏材料等技术落地发展，构建了以企业为主体、院所深度参与、国际协同创新的产业生态。

3、行业智改数转网联现状

江苏省通过“智改数转”战略加速纳米金属行业智能化升级。在政策推动方面，江苏省出台《江苏省制造业智能化改造和数字化转型三年行动计划（2025—2027年）》，明确提出通过三年努力，推动规上工业企业基本完成智能化改造，中小企业全面实施数字化转型。在技术应用方面，全省两化融合发展水平达69.2，关键工序数控化率70.1%，数字化研发设计工具普及率91.2%，均居全国第一。苏州工业园区依托全球最大纳米产业社区“苏州纳米城”，集聚1300余家纳米相关企业，通过工业互联网平台推进纳米金属材料生产全流程数字化监控与工艺优化，降低能耗并提升良品率。

当前，江苏省纳米金属行业在智改数转网联方面主要面临以下问题与挑战：

（1）转型内生动力不足，行业整体转型基础薄弱

纳米金属行业多数企业仍处于数字化转型初期，存在“不敢转、不愿转”的普遍心态。一方面，企业对数字化转型的收益认知不足，受限于传统生产工艺惯性，尚未充分认识到智能化、网络化对材料研发效率提升和柔性化生产的变革性作用。另一方面，行业缺乏可复制的标杆示范案例，部分企业虽尝试引入数字孪生、AI 辅助研发等技术，但因纳米金属材料制备工艺复杂、定制化程度高，试点项目往往难以形成标准化方案，导致企业试错成本高、推广信心不足。

（2）适配性技术供给不足，行业解决方案体系待完善

当前针对纳米金属行业的“智改数转网联”技术工具和解决方案存在显著缺口。一是核心工业软件自主化水平低，纳米材料微观结构模拟、多尺度计算等关键算法依赖进口，且与国产设备兼容性差，导致研发周期延长。二是现有通用型数字化平台难以适配纳米金属生产的特殊性。例如，纳米粉体制备过程中的超精细粒度控制、分散稳定性监测等环节，缺乏轻量化、低成本的传感器和边缘计算解决方案，制约了实时数据采集与分析能力。三是行业服务生态不健全，本地化服务商多以提供标准化产品为主，对纳米金属企业工艺 Know-how 的理解不足，难以开发深度定制化方案。

（3）资源要素制约突出，持续投入能力受限

纳米金属企业普遍面临资金与人才的双重瓶颈。从资金层面看,智能化改造需同步升级高精度检测设备、搭建材料数据库等,单家企业初期投入大,而中小企业融资渠道狭窄,政策性补贴覆盖范围有限,导致改造进度滞后。从人才角度看,行业亟需“材料+数字化”复合型人才,但现有高校培养体系仍以单一学科为主,企业内既懂纳米材料合成又精通数据建模的跨界人才稀缺。调研显示大部分纳米金属企业反映数字化团队建设困难,且内部员工技能转型培训成本高昂。

二、目标与架构

1、总体目标

为深入贯彻落实习近平总书记关于“推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合,加快制造业高端化、智能化、绿色化发展”的重要指示精神,按照《江苏省制造业智能化改造和数字化转型三年行动计划(2025—2027年)》部署要求,特制定本实施指南,系统推进纳米金属行业智改数转网联高质量发展。通过深化数字技术与研发设计、生产制造、质量管控、设备管理等环节的融合应用,着力构建材料研发数字化、生产过程智能化、产业链协同网络化的创新生态体系,力争至2027年底实现重点企业数字化转型诊断评估全覆盖,培育形成具有示范效应的智能工厂和工业互联网标杆,全面提升产业链协同效率与质量管控水平,为打造全国纳米金属产业创新高地提供数字化支撑。

应用水平明显提升。打造 40 个以上数字化转型典型场景培育 20 个以上数字化转型标杆工厂，形成一批数字化转型标杆企业。重点行业关键工序数控化率、数字化研发设计工具普及率等指标显著提升，数字化转型成熟度 3 级及以上企业提升至 20% 以上。

支撑能力显著增强。突破一批数字化转型急需的关键核心技术，制修订一批先进适用的数字化转型标准规范。推广应用 30 款以上数字化装备、工业软件等优秀产品，培育 30 家以上专业水平高、服务能力强的优秀系统解决方案提供商。

服务体系更加完善。2 个重点行业数字化转型推进中心、2 个重点行业制造业创新中心、1 个以上工业互联网标识解析二级节点、2 个以上行业级工业互联网平台

2、实施架构

纳米金属企业智改数转网联实施架构的构建，是实现行业智能化、数字化转型的“压舱石”。实施架构自上而下分为决策层、应用层、平台层、控制层、网络层和设备层六大模块。决策层作为战略中枢，集成分析评估、大数据分析、机理仿真、智能预测及知识库五大核心模块，依托数据建模与多维度推演实现科学决策。其下应用层深度覆盖研发设计、生产作业、质量管控、仓储物流、设备管理、安全管控、能源管理七大业务领域，细化形成协同设计、数据采集、在线监测、智能仓储、运行监测、事故管

理、能耗监测等数字化功能矩阵。平台层构建工业互联网平台、大数据平台、标识解析平台和人工智能平台四位一体的技术底座，为上层应用提供算力支撑与数据服务能力。控制层通过MES（制造执行系统）、APC（先进过程控制）及EMS（能源管理系统）实现生产全流程优化调控，网络层则集成工业以太网、TSN（时间敏感网络）、5G等新型网络技术，结合SCADA（数据采集与监控系统）、DMS（分布式管理系统）等构建高可靠工业通信体系。设备层作为物理载体，实现反应釜、研磨机、搅拌机等核心生产设备，与工业机器人、AGV（自动导引车）等智能装备的互联互通。各层级通过标准化接口纵向集成，形成“数据采集-智能分析-策略生成-精准执行”的业务闭环，为江苏省纳米金属行业构建了从战略决策到设备执行的全链路数字化转型实施体系。



图 2-1 纳米金属行业智改数转实施架构

三、基础能力

1、网络基础设施能力建设

(1) 企业内外网

纳米金属行业企业在基础网络建设方面采用现场总线、工业以太网、工业光纤网络、时间敏感网络、窄带物联网、4G/5G/6G等工业通信技术开展生产网络改造升级和全面覆盖，提升企业、工厂内部集成和协同能力。应建立关键主机设备、网络设备、数据设备、安全设备、控制组件等冗余配置。在系统互联方面，应利用中间件工具、数据接口、集成平台等实现企业 ERP、MES、WMS 等跨业务活动的集成，应建立稳定可靠的数据安全、信息

安全、网络安全防护体系，应用工业互联网、云计算、大数据等新一代信息技术，在保障信息安全的前提下，纵向实现生产管理、供应链等跨系统、跨价值链之间的数据互通，横向与行业主管单位、相关职能部门灵活联通，实现综合监管一体化。此外，企业宜统一各种控制系统的对外通讯协议标准，降低数据采集难度，在控制系统与信息系统网络之间加装物理单向隔离网闸，防止信息系统对控制系统产生干扰和影响。在现场仪表和设备采集，可利用 5G/6G 网络、NB-IoT、等物联网网关等技术，采集现场设备设施实时数据，该实时数据可存储于工业时序数据库中，用于大数据的分析和应用。通过规范化建设纳米金属企业的内外网将进一步提升企业综合效益和竞争力，实现纳米金属企业的高质量发展。

（2）标识解析

纳米金属企业可依托现有工业互联网标识解析节点，实现设备、工艺模型、产品、原辅料等要素的注册和解析，实现跨企业的业务协同。行业内龙头企业宜建设国家工业互联网标识解析二级节点，向上与国家顶级节点对接，通过标识解析体系实现跨企业、跨园区、跨行业、跨地域的信息网络化联接和数据共享共用。行业企业可参与注册国家工业互联网标识解析企业节点，向上与二级节点对接，具备标识编码、标识解析能力。

2、数据采集能力建设

(1) 终端采集数据能力

加装生产设备传感器，采集生产过程与设备运行数据。在纳米金属制备过程中，根据制备方法的差异，可在不同生产过程中涉及的真空腔、真空泵、蒸发源/溅射源、反应釜、供气系统等设备、系统中加装相适应的真空度、流量、温度、压力、电流与电压等各类传感器及仪表。通过实时监测真空度、流量、温度、电流、电压、压力等关键参数，确保制备过程的稳定性、可控性以及安全性，优化制备过程，提高生产效率与产品质量，同时也为分析设备运行效率、及时发现潜在故障、评估设备性能及寿命提供重要数据支持。

增加耗能及排放环节传感器，采集能耗与污染数据。在纳米金属制备的能耗监测方面，在电源输入端及气体输送系统安装电能计量与流量传感器，实时监测电能与气体消耗；同时，在设备排气口增设颗粒物、有害气体传感器及尾气分析仪器，监测排放物浓度。这些数据不仅可评估设备能效与环境污染程度，还能指导节能与减排措施的制定，优化反应参数，减少污染物生成，实现绿色生产。

(2) 数据互联互通能力

统一数据采集终端与控制系统的通讯标准与协议，奠定数据互联基础。推荐采用配备标准接口的传感器及仪表，如 RJ45、

RS232、RS485 等通用通讯接口，以确保数据的稳定采集。同时，建议各类终端采集与控制系统兼容主流通讯协议，如 OPC、TCP/IP、MODBUS 等，以实现实时、高效的数据传输，提升系统整体性能和可靠性。

建设工业网络系统，推动各系统数据互联互通。采用 5G 网络、NB-IoT 等先进的物联网技术，通过有线网接入交换机、厂区无线传输网基站、无线传感网网关等网络设备实现信息接入，高效传输现场设备设施实时数据。在此基础上，进一步实现数据的跨部门信息共享，促进工业网络系统的高效协同与数据互联，为后续大数据的分析和应用奠定基础。

依托工业互联网标识解析二级节点，实现企业系统融合与数据互联。企业可借助工业互联网标识解析二级节点，将内部软件、硬件系统有机融合，确保整体及各子系统间协调运作，促使系统及服务具备对接与迁移的灵活性，保障企业各系统间数据的安全稳定传输。同时，进一步推动企业与上级企业、所在园区及其他监管部门的数据交换、汇聚和共享，实现更大范畴数据互联互通及业务集成。

（3）数据集成分析能力

打造数据集成平台，实现企业数据的全面集成与高效管理。该平台涵盖管理数据库、实时数据库和视频数据库等多种类型数据库，企业通过 ETL、数据 API 等方式，将采集到各类数据和信

息，经由标准数据接口和协议，精准接入各大平台数据库，有效沉淀数据资产。以此实现数据的集中集成及全生命周期的管控，促进各业务模块间复杂数据交互与深度融合，为上层各业务功能模块的应用提供强有力的数据支撑。

搭建工业大数据分析系统，高效并行处理实时数据，实现数据的深度挖掘与分析。系统通过实时大屏看板、智能化监控预警平台和 BI 分析报表，实现生产监测、设备诊断、能耗分析及质量事故分析等功能。同时，对车间生产作业、关键设备及能耗污染等运行数据进行趋势分析，结合设备温度、压力、电流、电压、能耗、排放等关键参数，深入挖掘数据背后的隐藏规律与潜在问题，进行故障预警、运行效率评估及性能优化作业。通过实现生产管理信息化、数据应用可视化，使预测动态性成为可能，生产问题得以提前预警，助力公司管理层精准分析决策，推动企业向智能制造转型。

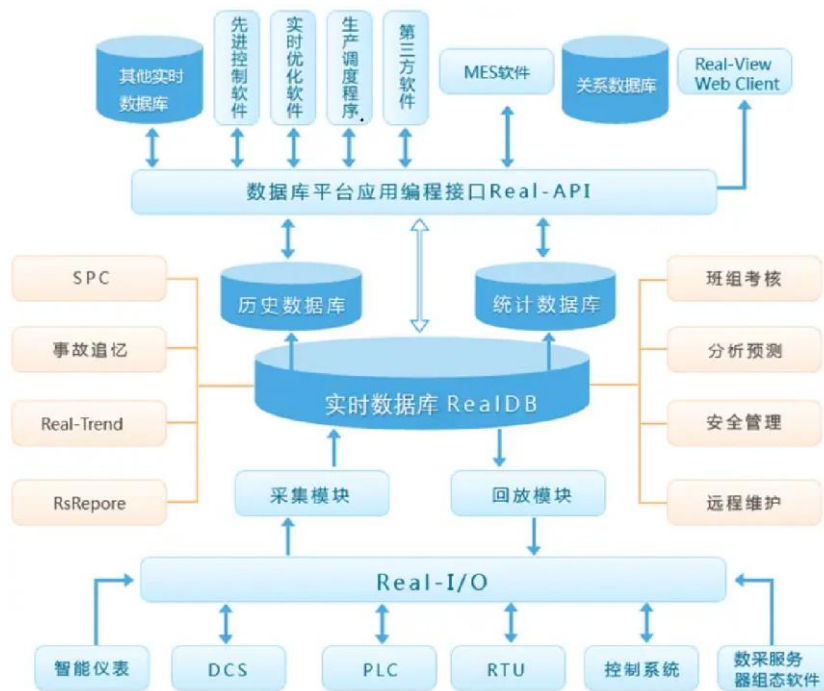


图 3-1 工业数据采集、联网、集成、分析体系架构图

3、信息系统能力建设

纳米金属行业企业主要涉及以下企业信息化系统：

(1) CAD（计算机辅助设计）

CAD 软件用于产品设计与建模，支持二维绘图和三维参数化建模，如 AutoCAD 和 SolidWorks，可实现复杂几何结构的精确设计。在纳米金属行业中，CAD 被用于设计纳米材料微观结构（如金属纳米颗粒、复合材料界面）及生产设备组件，通过三维建模优化纳米金属器件的形状与性能参数，提升材料设计的可制造性。

(2) CAE（计算机辅助工程）

CAE 通过有限元分析（FEA）和计算流体力学（CFD）进

行工程仿真，支持结构、热力学及多物理场模拟。在纳米金属领域，CAE 用于模拟纳米金属材料在极端条件下的力学行为（如纳米压痕、疲劳断裂），优化纳米涂层工艺参数，预测材料热膨胀或电磁特性，从而缩短实验周期并降低研发成本。

（3）PLM（产品生命周期管理）

PLM 系统管理产品从设计到退役的全生命周期数据，集成研发、生产、供应链等环节。纳米金属企业利用 PLM 实现纳米材料配方的版本管理、工艺参数标准化及跨部门协作，确保纳米金属产品（如纳米合金、金属基复合材料）的研发数据可追溯，加速从实验室到量产的转化。

（4）MES（制造执行系统）

MES 实时监控生产流程，管理资源调度、质量控制和设备维护。在纳米金属生产中，MES 跟踪纳米粉末合成、烧结等关键工序的工艺参数（如温度、压力、时间），实时预警生产偏差，确保纳米金属制品（如纳米晶金属带材）的批次一致性，并与 ERP 系统联动优化供应链效率。

（5）SCADA（数据采集与监控系统）

SCADA 通过传感器和远程终端（RTU）实现设备数据采集与集中监控。在纳米金属工厂中，SCADA 用于实时监测真空熔炼炉、气相沉积设备等关键装置的运行状态，远程调节纳米金属制备环境（如真空度、气体流量），保障纳米材料合成过程的安

全与稳定性。

(6) DCS (分布式控制系统)

DCS 适用于连续流程工业的分布式控制，支持多设备协同与高精度调节。纳米金属行业将其用于控制高温烧结炉、纳米涂层生产线等连续工艺，通过模块化控制器调节温度梯度、纳米颗粒沉积速率等参数，实现纳米金属薄膜或块体材料的高效连续生产。

(7) PCS (过程控制系统)

PCS 是 DCS 的升级版，强调全流程优化与智能化，集成 APC 和数据分析功能。在纳米金属领域，PCS 通过模型预测控制 (MPC) 优化纳米材料合成反应条件 (如反应物浓度、pH 值)，动态调整工艺参数以提升纳米金属粉体的纯度与粒径分布均匀性。

(8) PLC (可编程逻辑控制器)

PLC 用于设备级逻辑控制，支持高速响应和定制化编程。纳米金属生产线中的 PLC 控制精密机械臂、纳米压印设备等执行单元，实现纳米结构图案化的高精度定位与重复性操作，例如在金属表面制造纳米级沟槽或阵列结构。

(9) APS (高级计划与排程)

APS 通过算法优化生产计划与资源调度，平衡产能与交期。纳米金属企业借助 APS 协调多批次、小批量订单的生产排程，

优化纳米金属靶材、纳米线等产品的设备利用率，减少因工艺切换导致的能耗浪费，同时应对客户定制化需求。

（10）APC（先进过程控制）

APC 基于实时数据与预测模型实现闭环优化，提升过程稳定性与能效。在纳米金属制备中，APC 动态调节等离子喷涂的功率与送粉速率，控制纳米涂层的厚度与结合强度；或通过多变量控制优化纳米金属烧结炉的温场分布，减少材料缺陷并降低能耗。

（11）WMS（仓储管理系统）

WMS 用于管理仓库内物资的入库、存储、出库及库存优化，支持条码追踪和自动化设备联动。在纳米金属行业，WMS 被用于管理纳米粉末、合金靶材等关键原材料的精细化仓储，通过批次跟踪确保高纯度材料的生产可追溯性，同时协调真空熔炼炉、气相沉积设备等工艺环节的物料调度，降低因库存积压或短缺导致的生产中断风险。

（12）TMS（运输管理系统）

TMS 优化物流路径规划、运输成本核算及承运商管理，集成 GPS 和物联网实现实时监控。纳米金属企业利用 TMS 保障纳米材料（如铜纳米线、银纳米颗粒）在运输中的稳定性，通过温湿度控制和防震包装管理，确保纳米级产品在交付至电子器件或能源企业时保持物理特性不受损。

（13）CMMS（计算机化维护管理系统）

CMMS 统筹设备维护计划、工单派发和备件库存，支持预防性维护。在纳米金属生产中，CMMS 用于管理磁控溅射设备、纳米压印机等高精度设备的维护周期，实时监控高温烧结炉的温控系统状态，减少因设备故障导致的纳米涂层工艺波动。

（14）EAM/AMS（企业资产管理系统）

EAM 覆盖资产全生命周期管理，包括采购、运维和退役决策。纳米金属企业借助 EAM 优化多孔阳极氧化铝模板、等离子喷涂设备等核心资产利用率，通过数据分析预测纳米薄膜生产线的能效损耗，延长设备使用寿命并降低维护成本。

（15）QMS（质量管理体系）

QMS 通过标准化流程和数据分析实现质量控制，支持 ISO 认证。在纳米金属行业，QMS 用于监测纳米颗粒粒径分布（如 Bi₂Te₃ 纳米片的厚度均匀性）、涂层结合强度等参数，确保纳米金属带材的批次一致性，并生成符合欧美出口标准的检测报告。

（16）EHS（环境、健康与安全管理系统）

EHS 整合环境监测、职业健康管理和安全合规流程。纳米金属企业通过 EHS 系统管控纳米粉末合成过程中产生的有害气体（如反应副产物挥发性有机物），实施员工接触纳米颗粒的防护措施，并确保废水处理符合环保法规，避免纳米材料污染环境。

（17）EMS（环境管理系统）

EMS 聚焦碳排放、能源消耗和废弃物管理，推动可持续发展。纳米金属企业利用 EMS 优化纳米气凝胶生产中的能耗数据，通过回收再循环微纳胶粉（如废旧轮胎制备的纳米胶粉）降低固废排放，同时监测等离子喷涂工艺的碳排放强度以实现碳中和目标。

（18）ERP（企业资源计划）

ERP 集成财务、生产、供应链等模块，实现资源全局优化。纳米金属企业通过 ERP 协调纳米水性工业漆的订单排产、原材料采购（如铜矿、稀土元素）及库存周转，动态调整柔性电子器件定制化订单的生产计划，提升多批次小批量纳米靶材的交付效率。

（19）SCM（供应链管理系统）

SCM 协调供应商、制造商和客户间的物流、信息流与资金流。在纳米金属领域，SCM 用于管理稀土元素采购、纳米复合材料的跨境运输及客户需求预测，通过区块链技术确保钨纳米粉体等战略物资的供应链透明度，应对国际贸易政策波动。

（20）CRM（客户关系管理系统）

CRM 管理客户数据、销售漏斗及服务历史。纳米金属企业通过 CRM 跟踪电子行业客户对纳米导电油墨的定制需求，分析医疗设备厂商对抗菌纳米涂层的反馈，优化研发方向并提升高附加值产品的市场份额。

（21）BI（商业智能系统）

BI 通过数据可视化与挖掘支持决策分析。纳米金属企业利用 BI 分析纳米薄膜太阳能电池的市场趋势，结合生产数据优化纳米铜粉的产能分配，同时评估燃料电池用铂纳米催化剂的成本效益，驱动技术升级与投资决策。

4、信息安全能力建设

纳米金属行业智改数转网联下企业工业信息安全能力建设的基本框架和部署方式。从设备安全、网络安全、平台安全、应用安全和数据安全这几个角度进行阐述：

（1）设备安全

基本框架

设备清单与标识：纳米金属行业涉及众多专业生产设备、检测仪器等，首先要对所有相关设备进行全面梳理，建立详细清单，涵盖设备名称、型号、功能、所处生产环节等信息，并为每台设备赋予唯一标识，便于精准管理与追踪。

设备准入与认证：制定严格的设备接入网络及系统的准入规则，对于新引入的设备，如纳米金属粉体生产的研磨机、烧结设备等，只有通过身份认证（例如基于数字证书、设备指纹等方式），确认符合安全标准后，方可接入企业的智改数转网联环境。

设备状态监测与维护：实时监控设备的运行状态，包括关键参数（如温度、转速、压力等）、故障信息等，依据设备正常运

行的指标范围设定阈值，一旦出现异常能及时告警，同时制定定期维护计划，保障设备硬件和内置软件处于良好状态，避免因设备故障引发安全隐患。

部署方式

终端防护软件安装：在各类生产设备、控制终端等上部署专业的终端防护软件，可实现防病毒、防恶意软件入侵功能，实时扫描设备上的文件及运行进程，对发现的潜在威胁及时阻断并上报至安全管理平台。

硬件安全模块嵌入：对于一些关键且敏感的设备，如涉及纳米金属配方或工艺参数存储的设备，嵌入硬件安全模块，用于加密存储重要数据，保障即使设备遭遇物理层面的非法访问，关键数据也不会轻易泄露。

（2）网络安全

基本框架

网络分区规划：根据纳米金属生产的不同流程及功能需求，将网络划分为办公区网络、生产区网络、研发区网络等不同区域，利用防火墙、VLAN（虚拟局域网）等技术实现严格的网络隔离，限制不同区域间的非必要访问，例如防止办公区的非授权访问进入到生产设备控制网络。

网络流量管控与监测：建立网络流量监控机制，实时分析进出网络的流量情况，识别流量中的异常行为，像异常的大数据传

输（可能涉及企业核心纳米金属工艺数据外泄）、不明来源的访问请求等，同时依据业务需求制定流量控制策略，保障网络带宽合理分配，避免网络拥塞影响生产运营。

网络安全策略制定：结合纳米金属行业特点及企业实际运营情况，制定全面的网络安全策略，涵盖访问控制（规定哪些 IP 地址、用户角色能访问哪些网络资源）、入侵检测规则（识别常见的网络攻击手段）、数据传输加密要求等内容，确保网络安全防护有章可循。

部署方式

防火墙与入侵检测/防御系统（IDS/IPS）部署：在网络边界及关键区域内部部署防火墙，按照预设的安全策略对网络流量进行过滤，阻止非法的外部访问和内部违规访问；同时配置 IDS/IPS，实时检测网络中的入侵行为，对可疑攻击进行主动防御，如阻断恶意的扫描、攻击流量等。

VPN（虚拟专用网络）应用：对于企业内部需要远程访问生产网络、管理设备的场景，如外出的技术人员远程监控纳米金属生产线上的设备运行情况，采用 VPN 技术搭建安全的远程访问通道，保障数据传输的保密性和完整性。

（3）平台安全

基本框架

平台架构安全设计：纳米金属行业的智改数转网联往往依托

各类工业互联网平台、MES（制造执行系统）平台等，在平台架构设计初期就要融入安全理念，例如采用分布式、冗余备份等架构设计，提高平台的容错能力和抗攻击能力，保障平台在面对故障、攻击时仍能稳定运行，不影响纳米金属的生产流程。

平台组件安全管理：对平台所涉及的数据库、中间件、服务器等组件进行定期的安全评估与漏洞扫描，及时发现并修复存在的安全问题，同时关注组件供应商发布的安全更新信息，及时进行组件升级，确保平台各组件始终处于安全可靠的运行状态。

平台用户权限管理：依据企业内不同岗位员工在纳米金属生产、研发、管理等环节的职责需求，精细划分平台用户权限，明确规定谁能进行何种操作（如生产人员只能查看和调整本环节的生产参数，研发人员能访问和修改相关工艺数据等），通过基于角色的访问控制（RBAC）等机制实现严格的权限管理，防止越权操作引发安全风险。

部署方式

平台安全加固套件部署：在工业互联网平台等相关平台上安装专业的安全加固套件，涵盖操作系统加固、数据库加固等功能，对平台进行全方位的安全防护，降低因系统配置不当、漏洞等因素导致的安全风险。

多因素身份认证实施：要求平台用户在登录时采用多因素身份认证方式，如密码+动态口令、指纹+密码等，增强用户身份验

证的可靠性，避免因账号密码泄露导致的非法登录和平台安全问题。

（4）应用安全

基本框架

应用开发安全规范：纳米金属行业涉及诸多定制化应用，如生产流程控制应用、质量检测数据分析应用等，在开发这些应用时要遵循严格的安全开发流程，从需求分析阶段就考虑安全因素，进行代码安全审查，避免出现如 SQL 注入、跨站脚本攻击（XSS）等常见的安全漏洞，确保应用代码的安全性。

应用上线前测试：在应用准备上线投入使用前，必须经过全面的安全测试，包括功能测试、性能测试、安全漏洞扫描等环节，只有各项测试指标都符合安全标准，才能批准应用正式上线，防止有安全隐患的应用进入生产环境，影响纳米金属的正常生产和企业运营。

应用更新管理：建立完善的应用更新管理制度，对于应用的后续更新内容同样要进行严格的安全审核，确保更新不会引入新的安全隐患，同时在更新过程中做好版本管理和应急回滚预案，若更新出现问题可及时恢复应用到之前的稳定版本，保障生产连续性。

部署方式

应用防火墙（WAF）部署：在应用前端部署 WAF，通过分

析应用层协议（如 HTTP/HTTPS）的流量，识别并阻断针对应用各类攻击行为，例如恶意的参数篡改、非法的请求等，保障应用的正常运行和数据安全，尤其是对于涉及纳米金属关键工艺数据交互的应用，起到重要的防护作用。

应用运行监控与应急响应：借助专业的监控工具实时监测应用的运行状态，包括响应时间、资源占用情况、用户访问行为等，一旦发现应用出现异常（如响应缓慢、错误提示频繁等），立即启动应急响应机制，排查问题根源，采取修复措施，保障应用的可用性和安全性。

（5）数据安全

基本框架

数据分类分级：对纳米金属行业产生的海量数据，如纳米金属粉体的粒径分布数据、生产工艺配方数据、客户订单信息等，按照其重要性、敏感性进行分类分级，例如将工艺配方数据划分为核心机密数据，客户订单信息为重要商业数据等，以便后续实施有针对性的安全管理措施。

数据全生命周期管理：围绕数据的产生、采集、存储、传输、使用、共享到销毁等全生命周期环节，制定相应的安全管理制度和操作规范，例如在存储环节采用加密存储方式保护核心数据，在传输环节利用加密协议保障数据的保密性和完整性，确保每个环节的数据安全都能得到有效保障。

数据备份与恢复策略：根据数据的重要级别和业务需求，制定合理的数据备份计划，确定备份的周期（如每日、每周备份等）、备份的存储介质（如磁带、外置硬盘等）和存储位置（异地存储等），同时定期开展备份数据的恢复演练，确保在出现数据丢失、损坏等突发情况时能够快速、准确地恢复数据，保障纳米金属生产及企业运营不受太大影响。

部署方式

数据加密技术应用：针对不同级别的敏感数据，采用合适的加密技术（如对称加密、非对称加密等）进行加密处理，例如对纳米金属的核心工艺配方数据采用高强度的非对称加密算法加密后存储，在数据传输时也进行加密传输，防止数据被窃取或篡改。

数据安全管理平台搭建：建立统一的数据安全管理平台，整合数据分类分级管理、访问控制、审计等功能，对企业内所有数据的安全状况进行集中管控，实时监测数据的访问、使用情况，对异常数据行为及时预警并处置，提升数据安全管理的整体效率和效果。

纳米金属行业企业在开展智改数转网联工作时，应充分结合自身的生产工艺、业务流程、组织架构等实际情况，构建并不断完善上述信息安全能力建设框架，通过合理的部署方式保障工业信息安全，助力企业在数字化转型道路上稳健发展。

四、环节与场景

纳米金属产业链呈现高度协同的分工结构。上游以金属矿产（如铜、银、铁等）为核心原材料；中游涵盖纳米金属粉末、纳米金属线和纳米金属薄膜的制备与加工环节；下游应用广泛，包括电子信息、新能源、生物医药等领域，如纳米铜粉应用于锂离子电池负极材料、纳米银线应用于手机触控屏、纳米氧化铁薄膜应用于污水处理等。

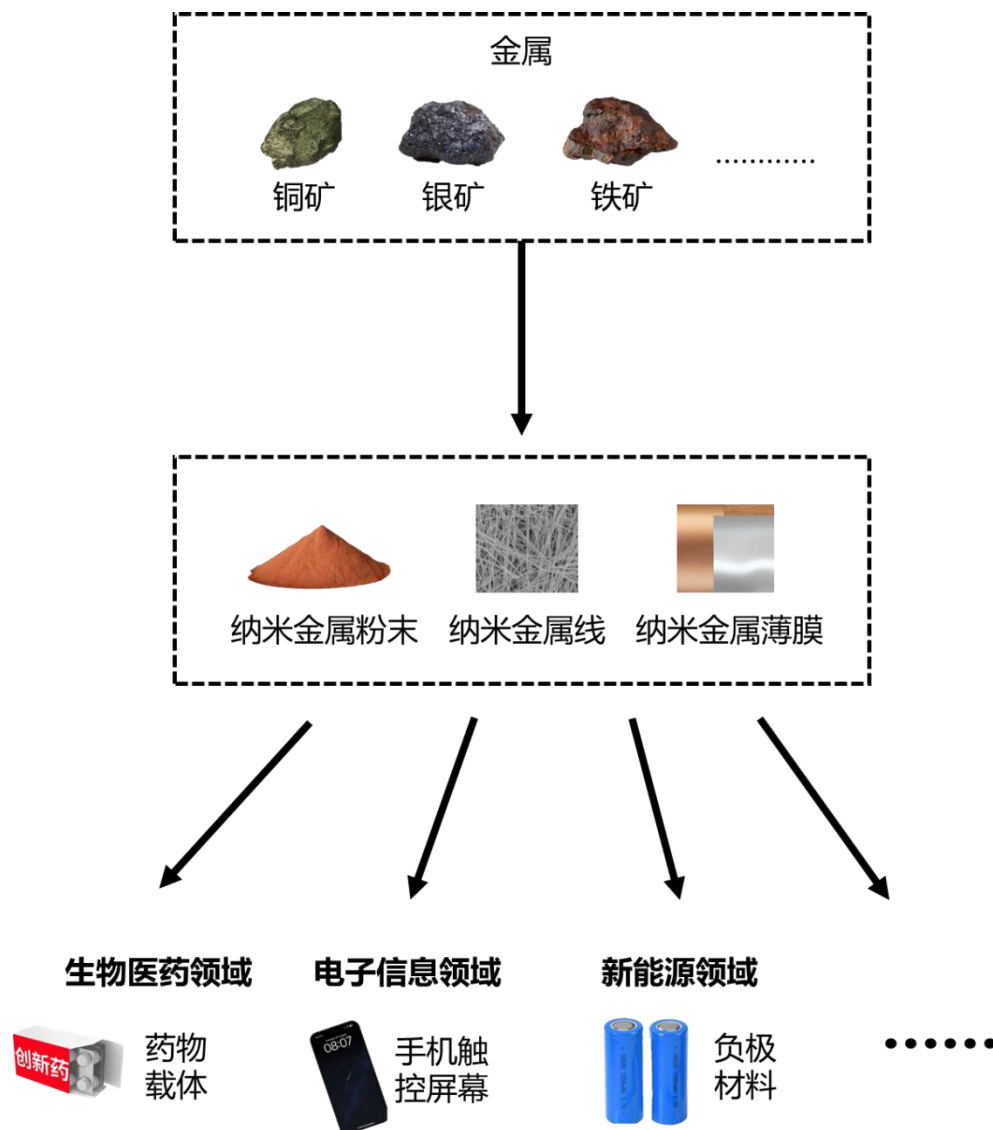


图 4-1 纳米金属产业链

纳米金属行业的特殊特性要求其必须通过数字化转型实现降本增效与高质量发展。一是研发设计的高效迭代，纳米金属材料性能高度依赖工艺参数，传统试错法研发周期长、成本高。借助大数据分析和人工智能优化实验参数，可有效缩短研发周期。二是生产管控的精细化，纳米金属材料对于粒径、纯度等指标要

求严苛。通过实时采集生产数据，应用机器学习优化工艺参数，可大幅提升产品合格率。三是能源与安全管理的智能化，纳米金属生产环节涉及高温高压环境及危化品，能源消耗占成本的30%-40%。通过加装传感器可实时监控设备能耗与排放，预测设备故障，降低生产能耗与安全事故发生概率。四是供应链的弹性优化，由于纳米金属的金属原料价值高且价格波动频繁，通过数字化供应链平台可整合市场数据，动态调整采购策略，提升供应链韧性。

本实施指南基于纳米金属行业特点，选取企业智能化改造数字化转型过程所涉及的产品研发设计、工艺设计、质量管控、营销管理等9个重点领域。

1、产品研发设计

（1）存在的问题

纳米金属行业在产品研发设计环节存在的主要问题集中体现在过度依赖人工经验与缺乏智能化工具的协同，以及研发与生产数据链路的割裂。当前，纳米金属材料的研发仍以实验试错为主，工艺参数优化需通过海量实验和反复仿真建模实现，缺乏专业化的材料设计软件对复杂反应条件进行模拟预测和参数自动寻优。同时，生产端的关键数据（如粒径分布、纯度指标、设备运行状态）和服务端的应用反馈（如材料耐洗性、稳定性表现）未能实时接入研发系统，导致品质控制指标与工艺优化需求无法

形成闭环管理。这种数据孤岛现象制约了材料性能迭代速度，研发人员难以快速获取生产现场的动态数据支撑。此外，现有研发体系缺乏对多维度数据（如原材料纯度、设备能耗、环境变量）的整合分析能力，难以通过机器学习等手段挖掘潜在工艺规律，进一步延缓了高纯度纳米金属的产业化进程。

（2）改造场景

场景 1：研发设计协同

构建一个集成化的纳米金属材料设计研发平台，该平台能够实现跨部门、跨地域的实时数据共享和通信，确保所有团队成员都能够访问最新的产品信息，从而提高设计效率，减少错误和重复工作，优化供应链协同，加强变更控制，实现 BOM 和工艺数据的无缝转换，以及促进生产数据与研发环节的闭环反馈，最终提升纳米金属材料研发的数字化协同效率与迭代速度。

场景 2：数据集成

构建一个数据集成系统，在纳米金属行业研发与生产场景中深度整合材料基因工程数据库、CAD、CAE、CAM 及 CAPP 等工具，并与 SCM、ERP、CRM 等系统深度集成。该系统依托纳米金属工艺数据库的 AI 驱动能力，将材料成分、工艺参数、性能测试等海量数据与设计模型、仿真结果、加工代码自动关联，实现从纳米金属结构创新设计到规模化生产的全链条信息流贯通，同时通过统一数据中心模块标准化管理实验数据、生产订单、

供应商资源及客户需求，确保工艺优化、设备调度、原料采购、质量追溯等业务环节的无缝协作。系统通过全生命周期数据沉淀与多维度追溯机制，减少因数据孤岛导致的设计迭代成本，提升纳米金属材料研发转化效率及高端制造竞争力。

（3）解决方案建议

产品全生命周期数据管理系统（PLM）

PLM 系统包含物料管理、产品管理、流程管理、项目管理、图档管理、协同办公等系统功能。该系统能够整合 CAD、CAE、CAM、CAPP 等研发工具，并与 SCM、ERP、CRM 等系统深度集成，系统不仅能够实现设计、采购、生产、销售等环节之间的信息流全面贯通，还能支持产品全生命周期的信息创建、管理、分发和应用。此外，通过数据中心模块实现数据管理的统一化，打通业务执行各个环节的数据通讯和协同，形成有机整体，并完整保存整个业务执行过程的各项数据，实现过程的可追溯。

产品全生命周期数据管理系统有助于提升纳米金属产品研发设计的效率和准确性，减少重复工作和设计错误，确保资源的有效利用和生产流程的顺畅。

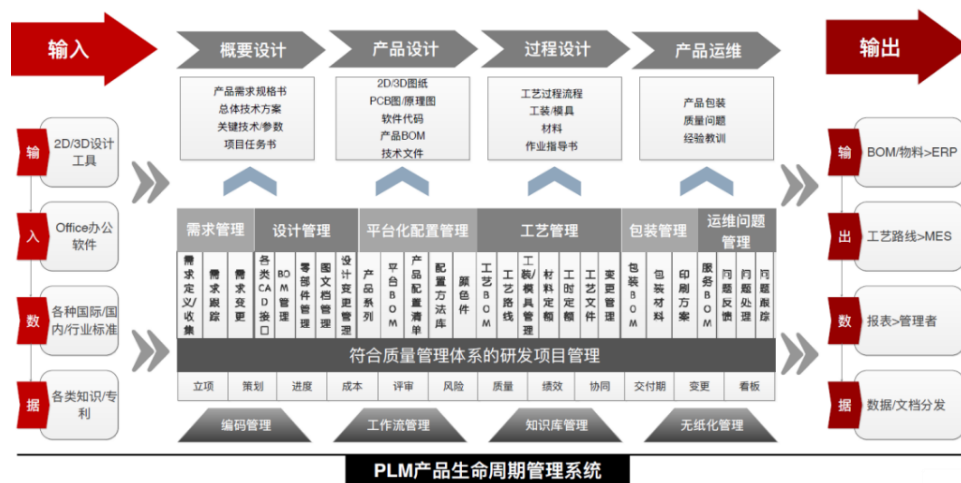


图 4-2 PLM 产品生命周期管理系统

2、工艺设计

(1) 存在的问题

纳米金属行业在工艺设计环节存在一系列问题，主要体现在当前工艺设计仍高度依赖人工经验，数字化水平不足且缺乏高效的数字化工艺验证与仿真工具。具体而言，纳米金属的制备涉及复杂的多步骤化学沉积、电沉积或高温烧结等工艺，需精准控制温度、压力、溶液成分等参数，微小偏差即导致产物尺寸不均、形貌缺陷或纯度下降，而传统人工设计难以实现参数优化与动态调整。此外，行业尚未形成完善的跨尺度（原子级至宏观级）仿

真验证体系，导致工艺稳定性与产品性能预测能力薄弱。同时，工艺数据积累不足、标准化缺失加剧了设计验证难度。

（2）改造场景

场景 1：数字化工艺设计

构建一个数字化工艺设计平台，该平台能够实现工艺设计流程的显性化、流程化和模块化，以及工艺设计活动的智能化、闭环化。这个平台通过整合三维设计数据同步更新、工艺数据统筹管理、基于统一的三维数据协同管理平台，实现标准作业流程的固化，并形成标准作业指导。此外，工艺一体化平台，能够实现工艺信息模板化、工艺经验积累和有效重用。通过工艺数据中台与 PDM 的集成，实现工艺设计与管理的一体化，提升工艺设计的自动化水平。

场景 2：数字化工艺仿真

利用先进的信息技术，包括数字孪生建模技术、AI 大模型技术，构建一个集成化的平台，实现工艺设计、验证和优化的完整闭环。平台通过建立准确的仿真模型和采用科学的优化方法，实现自动化和智能化的仿真验证和优化，提高工艺精度和效率，降低生产成本，缩短产品研发周期，增强企业的市场竞争力。此外，该平台还能通过与 MES、ERP 等车间系统深度集成，实现数字化车间技术研究与应用，为智能化车间、产线大数据分析等奠定基础。

(3) 解决方案建议

工艺设计仿真管理系统

基于制造数据管理平台中统一的工艺数据，打造智能制造数字化工艺设计仿真管理系统，在线开展同步工程、标准工艺设计，全配置BOM与资源库、标准工艺关联，动态生成工艺规程、作业指导书等工艺文件，并实现设计变更和版本管理。基于智能制造数字化工艺设计管理系统，集成仿真软件，包括PD、PS、Plant、Flow工具模块，实现产品冲压、焊接、涂装、总装等数字化工艺设计与仿真。在虚拟场景中，有效缩短现场实物调试周期，实现数字化连续性。

通过在虚拟环境中对产品设计、工艺规划、制造流程、物流配送的整个产品诞生和交付流程进行验证，可以快速评估工艺方案、优化产品设计，有效减少传统试验和样车试制的成本和时间，加速产品研发；通过优化工艺参数、装配顺序和流程，提高产品质量和一致性，减少产品缺陷，提高产品质量和可靠性；通过数字化仿真，有助于重塑工艺流程，实现最佳装配顺序，提高生产效率，减少浪费和瓶颈，优化资源利用。

3、质量管控

(1) 存在的问题

纳米金属行业在质量管理环节存在以下问题，主要表现为质量检测手段滞后、生产数据采集与分析能力不足、质量追溯体系不完善等核心问题。当前行业仍依赖人工取样与离线检测，导致

检测效率低、精度不足且难以实时监控生产过程中的质量波动，例如金属纳米粉的尺寸、形貌等关键参数易受温度、压力等工艺条件微小变化的影响，传统检测方法无法精准捕捉纳米级缺陷。设备数字化水平低下导致生产数据（如反应釜温度、溶液成分等关键参数）缺乏自动化采集与存储，仍需人工手写记录，不仅数据完整性和可靠性存疑，更难以构建全流程质量数据库，致使工艺优化缺乏数据支撑。质量追溯高度依赖技术人员经验判断，缺乏智能化追溯系统对原材料批次、工艺参数、异常事件等信息的关联分析，面对突发性质量问题难以快速定位根源。此外，行业普遍存在技术标准不统一、质量文化薄弱等问题，员工质量意识不足与先进检测设备投入有限形成恶性循环，进一步加剧质量稳定性风险。尽管部分企业开始引入 AI 视觉检测、物联网监控等新技术，但整体渗透率较低，尚未形成覆盖“生产-检测-追溯”全链条的数字化质量管理体系。

（2）改造场景

场景 1：质量在线检测

通过集成高精度的太赫兹传感器技术、X 射线传感器技术、直接厚度传感器技术以及先进的表面检测等系统，实现对纳米金属产品厚度、表面缺陷、克重和密度等关键质量参数的实时、非接触式在线检测，以提高检测精度、效率和产品质量。

场景 2：质量追溯

对产品在生产 and 供应链中的每个环节进行数据采集,包括设备上的数据采集、质量控制数据采集和环境监控数据采集,通过数据库等技术高效管理海量的复杂数据,包括数据存储、数据管理和数据查询。通过数据分析发现产品生产质量问题,并进行质量优化。给产品标注唯一的追溯码,对产品的生产、加工、运输、销售等各个环节进行记录和管理,提供产品的全程追溯和验证。通过追溯码对供应链进行管理,对供应商物料信息、制造过程信息、设备信息、质量信息及仓储信息等的系统性采集,帮助企业实现从客户订单、生产批次到装配物料批号的全面贯通,进而实现产品全生命周期的追溯。

场景 3: 产品质量优化

采用先进的质量管理体系,结合数据分析和机器学习技术,对产品的设计、生产、测试等环节进行全面监控和分析,以识别和解决质量问题,实现从原材料选择、工艺流程优化到成品检验的全生命周期质量管理,从而持续提升产品质量和客户满意度。

(3) 解决方案建议

智能检测

集成先进的纳米材料、电化学传感器技术以及机器视觉系统，通过利用金纳米颗粒、量子点、石墨烯等功能性纳米材料的光学和电化学特性，实现对金属离子的高灵敏度和选择性检测。同时，结合 5G 网络和工业边缘云技术，该方案能够实现金属表面的高清图像快速上传和实时分析，提高生产线的运转效率并保障数据安全。此外，该方案还能通过原子光谱技术评估纳米材料对重金属污染物的吸附性能，为纳米金属行业的质量控制提供了全面而高效的检测手段。

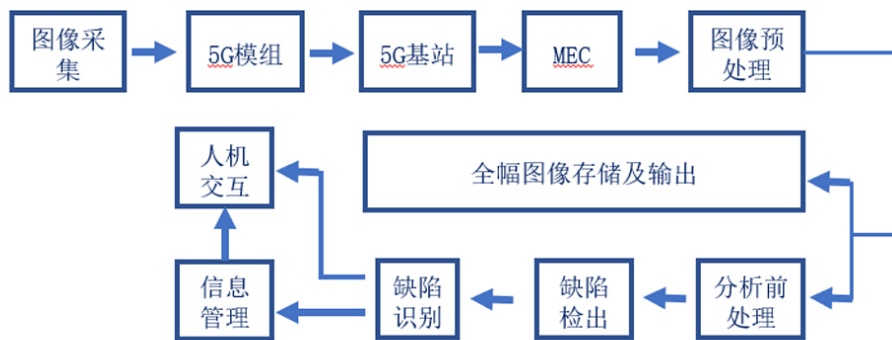


图 4-3 智能检测流程

全流程智能质量监测系统

建设全流程智能质量监测系统，实现从原料到成品入库的全流程工序 100% 在线自动监测，通过 QMS、MES、ERP、WMS、SPC 集成交互，打通全流程质量管理数据链，构建工厂物料产品质量管理统计分析、在线监控预警及异常的改进协同平台，实现面向产品全生命周

期的智能化追溯和控制服务，实现质量信息的互联互通和精准追溯。

系统还将 AI 技术与质量数据深度融合，实现生产过程异常监测、工艺数据关联分析、产品质量预测预警等功能。通过 AI 技术实时监测和分析生产中的质量数据变化，能够时刻洞察生产过程中的细微变化，及时识别潜在问题，预测可能出现的质量异常，帮助企业提升质检效率、降低质量成本。

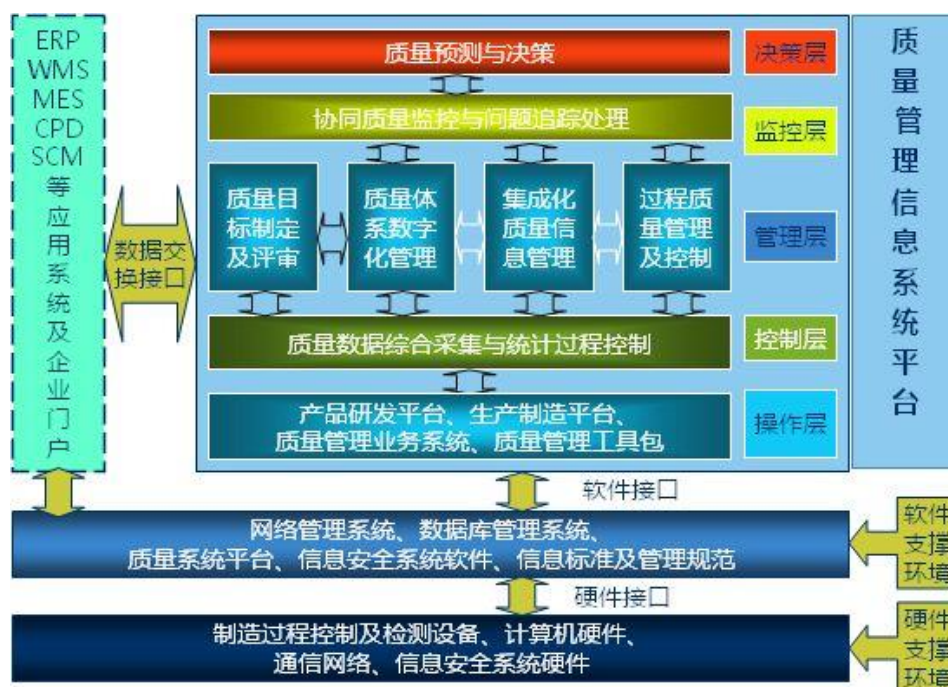


图 4-4 全流程智能质量监测系统

4、营销管理

(1) 存在的问题

纳米金属行业在营销管理环节主要存在以下问题，在供应链管理方面，与上下游企业的数字化协同程度低，无法实现订单、

库存等关键数据的实时共享，信息传递不及时、不准确，导致原材料供应不稳定，影响生产进度和产品交付，且在面对市场需求波动时，供应链的响应速度迟缓，难以快速调整生产和配送计划。在订单管理上，缺乏高效的数字化订单处理系统，订单处理流程繁琐，人工操作多，容易出现订单错误和延误，对订单状态的跟踪和反馈不及时，无法满足客户对订单透明度的要求，降低了客户满意度，同时也难以根据订单数据进行科学的市场分析和预测，影响企业的生产和营销策略制定。

（2）改造场景

场景 1：客户关系管理

通过构建全面的数字化客户关系管理平台 CRM，实现客户关系管理流程的透明化、规范化和精细化以及客户服务活动的个性化、智能化。平台整合多渠道如线上官网、社交媒体、线下展会等客户数据并实时同步更新，深度挖掘分析客户信息，基于统一客户数据管理平台实现客户跟进流程标准化并形成针对性服务策略，客户关系一体化平台能实现客户需求模板化分类、服务经验积累与高效复用，依据不同行业、规模客户特点需求精准匹配规划服务，通过客户数据中台与 ERP、营销自动化系统集成达成客户关系管理与销售、生产、物流等环节一体化协同，提升响应速度与服务质量，在客户互动上利用人工智能和机器学习技术让智能客服机器人快速响应解答常见问题，实时分析客户反馈调

整策略，自动提醒销售人员对重要客户定期回访关怀增强粘性，以数字化手段全程管理客户生命周期，从潜在客户挖掘、新客户获取到老客户维护和二次开发，实现客户价值最大化，提升企业市场竞争力与品牌形象。

场景 2：订单管理

搭建先进的数字化订单管理平台，实现订单管理流程的可视化、自动化、敏捷化以及订单处理活动的精准化、高效化，该平台集成多渠道订单数据并实时汇总更新，实时跟踪监控订单状态，基于统一订单数据管理中枢实现订单处理流程标准化、规范化，形成智能化订单调度策略；订单管理一体化平台能实现订单信息模板化处理、处理经验有效沉淀和快速复用，针对常规、定制、加急等不同类型订单，依据特性要求精准匹配资源、优化流程，通过订单数据中台与 **SCM**、**ERP** 深度集成，达成订单管理与采购、生产、库存、物流等环节无缝协同，提升订单交付准时率和准确率；在订单处理上，平台借助人工智能算法和大数据分析技术实现订单智能审核与分配，自动识别潜在风险并预警，依据历史订单数据和市场需求预测优化库存管理和生产计划，异常订单时系统自动触发应急机制协调资源解决问题，以数字化手段严格把控订单全生命周期，从创建、审核、执行到交付和售后，大幅提升订单处理效率、有效降低成本，增强企业市场应变能力和客户满意度。

（3）解决方案建议

客户关系管理系统 CRM

客户关系管理系统（CRM）通过集中整合客户数据、交互记录与业务信息，构建全生命周期管理闭环，依托智能分析引擎实现客户画像精准刻画与需求预测，自动化管理销售漏斗、营销活动及服务工单，结合 BI 工具生成多维报表驱动决策优化，同时支持跨渠道沟通协同与移动端实时响应，借助 API 无缝对接 ERP、供应链等系统，强化部门协作与流程标准化，最终提升客户留存率、转化效率及品牌忠诚度，为企业在动态市场中建立数据驱动客户运营体系。

5、计划调度

（1）存在的问题

对于纳米金属企业而言，在计划调度环节面临着一系列个性与共性问题。一方面，纳米金属材料特殊的物理和化学性质，使其生产对环境控制、设备精度和操作技术有特殊要求，进而对计划调度提出更高标准；且该行业技术迭代迅速，企业需不断调整生产计划以适配新技术，这对调度的灵活性和响应速度构成挑战。另一方面，与其他制造企业一样，有效配置人力、设备、物料等资源以提高生产效率并降低成本，以及兼顾生产效率与产品质量控制都是普遍面临的问题。

（2）改造场景

场景 1：生产计划优化

生产计划优化的改造场景涉及构建企业资源管理系统，集成约束理论、寻优算法和专家系统等技术，以实现基于采购提前期、安全库存和市场需求的生​​产计划优化。这包括通过市场需求预测、产能分析、库存分析、计划排产和资源调度提高劳动生产率和订单达成率。同时，还包括车间智能排产，利用计划排程系统和调度机理建模、寻优算法等技术，实现多约束和动态扰动条件下的车间排产优化。此外，资源动态配置也是一个重要场景，依托制造执行系统，集成大数据、运筹优化、专家系统等技术，开展基于资源匹配、绩效优化的精准派工，实现人力、设备、物料等制造资源的动态配置。

场景 2：车间智能排产

车间智能排产改造场景包括资源优化配置、协同效率提升、灵活性增强及市场变化应对。数字化系统精确记录分析员工技能、工作效率，合理分配人力资源，充分发挥员工潜力。实时监控设备状态，智能排产避免设备闲置或过度使用，提高设备利用率。打破信息壁垒，实现生产、采购、销售等部门间的高效协同，缩短生产周期，提高整体运营效率。**APS** 系统深度优化生产流程，提升效率，确保订单准时高质量交付，集成先进算法全面分析生产约束，减少等待空闲时间，提高设备利用率，降低成本。实时监控生产状况，动态调整，及时解决生产潜在问题，确保计划顺利执行。

场景 3：资源动态配置

资源动态配置的改造场景涉及依托制造执行系统（MES）集成大数据、运筹优化、专家系统等技术，实现基于资源匹配、绩效优化的精准派工，以动态配置人力、设备、物料等制造资源。这包括通过市场需求预测、产能分析、库存分析、计划排产和资源调度等手段提高劳动生产率和订单达成率。同时，通过部署智能制造装备，实现资源动态配置、工艺过程优化、协同生产作业，提高劳动生产率、降低产值成本率。此外，还包括产线柔性配置，即搭建柔性可重构产线，根据订单、工况等变化实现产线的快速调整和按需配置，实现多种产品自动化混线生产。

（3）解决方案建议

生产计划优化

在纳米金属行业，生产计划优化的应用场景体现在通过构建企业资源管理系统，利用约束理论、寻优算法和专家系统等技术，实现基于采购提前期、安全库存和市场需求的生计划优化。例如，某纳米金属企业引入 MES 系统，实现了从原料进厂到产品出厂的全流程优化，特别是在原料进厂与库存管理、生计划与排程优化方面取得了显著成效。通过 MES 系统，企业能够自动记录原料的种类、数量、批次等信息，并与库存管理系统实时同步，使得原料库存信息更加准确、实时，为生计划的制定提供了有力支持。同时，MES 系统能够根据订单需求、设备能力、原料库存等因素，自动生成详细的生计划

划，并实时调整生产排程，确保了生产过程的连续性和稳定性，提高了生产效率。

车间智能排产

车间智能排产在纳米金属行业企业的应用场景中，通过集成高级计划排程系统（APS）和人工智能优化技术，如遗传算法、模拟退火算法等，能够在多约束条件下快速搜索最优排产方案，实现生产周期最短、设备利用率最高、生产成本最低。某纳米金属工厂广泛应用了物联网、大数据、人工智能和数字孪生等先进数字化技术，在生产线上实现了设备的物联网连接，实时采集设备运行数据和生产过程数据。通过大数据分析技术处理和分析这些数据，实现了生产过程的优化和预测性维护。在智能排产方面，该工厂采用人工智能算法，根据订单需求、设备状态和人员配置等因素，快速生成最优排产计划。通过数字化协同平台，实现了与供应商和客户的紧密合作，订单交付准时率从 85% 提高到了 98%，整体生产效率提升了 30%。

6、生产作业

（1）存在的问题

纳米金属行业在生产作业中面临的问题主要包括：生产过程中数据采集难，纳米金属企业的自动化水平虽然处于较高水准，但设备联网水平普遍不高，设备间控制系统通讯协议标准不统一，

部分设备不具备联网条件，造成生产现场实时数据采集难度大，部分数据需要通过人工抄送进行上传。生产过程中各种控制系统无法做到互联互通，如 ERP、MES、WMS 等，这些系统之间相互独立，数据共享困难。纳米金属生产过程复杂，大多数自动化设备需要依靠人工监控工艺运行情况，目前企业是基于对最终产品质量进行检测，缺乏生产过程中的控制手段。

（2）改造场景

场景 1：实时数据采集

统一各种设备间控制系统对外通讯协议标准，降低数据采集难度，在控制系统与信息系统网络之间加装物理单向隔离网闸，防止信息系统对控制系统产生干扰。在现场设备数据采集，可利用 5G 网络、IoT 等技术，采集现场设备实时数据，将这些实时数据储存于数据库中，用于大数据分析和应用。

场景 2：信息系统集成

构建一个信息系统集成平台，将企业中各类系统中的数据，通过 ETL、数据 API 等方式接入信息系统集成平台，形成一个统一的数据视图，沉淀企业数据资产，实现数据的集中集成及全生命周期的管控。最终实现各业务模块之间的数据交互复杂、数据融合，支撑企业业务发展和创新。

场景 3：生产过程监管

通过 EHM、SPC、EMS 等方式，构建一个生产过程监管平台，

对纳米金属生产过程中生产状态，设备维修、使用，以及生产环境，能源使用进行监管，并生成纳米金属行业的产业图谱，通过图谱及时发现系统性因素出现的征兆，并采取措施消除其影响，使生产过程维持在受随机性因数影响的受控状态，达到控制生产质量的目的，降低能源消耗，提高生产效率。

(3) 解决方案建议

实时数据采集

企业通过使用合适的感知技术和设备，建立不同的感知系统，利用 5G 网络，将采集到的数据和信息通过数据接口存入管理数据库、实时数据库等多种数据库中，使得设备间的实时数据可以及时传输，同时通过 5G 和 IoT 技术的结合，实现了远程监控和控制生产线。比如某一次，该企业接到加急产品生产，负责人及时按照需求，通过操作系统调整生产线，从之前的 2 周换线时间缩短为 2 天，提高了生产线换线效率。

纳米金属企业生产作业现场涉及主要数采设备包括温度传感器、压力传感器、流量传感器、振动传感器、数据采集卡与智能仪表、5G 物联网网关、边缘计算设备、质量检测设备、智能手持终端、视频监控设备、网络接入设备、人员定位卡、RFID 读写器等。这些数据采集设备通过有线和无线网络连接到边缘计算设备和云平台，实现数据的实时采集和传输。

针对纳米金属行业的特点，信息系统集成可依托工业互联网标识

解析二级节点，将企业内相关的 ERP、MES、CRM、SCM、PLM 等软件系统和智能仪表、传感器、视频监控设备等硬件系统，进行有机融合，实现数据互通互联及业务集成。确保集成后整体及各子系统之间可以有机协调地工作。实现系统及服务可对接、可迁移，企业各个系统之间能完成各类数据的安全、稳定传输，同时可以与上级企业、所在园区及其他监管部门等进行数据的交换、汇聚和共享。

此外，通过服务网、物联网将企业设施、设备、组织、人互通互联，实现对物理世界的安全可靠、实时、协调感知和控制。通过信息系统集成，纳米金属企业生产过程中各种控制系统能够实现互联互通，实现数据共享，提升生产效率和质量，从而更好地满足市场需求。

7、仓储物流

（1）存在的问题

纳米金属行业在仓储物流中面临的问题主要包括：原材料、成品仓储整体上自动化、智能化程度较低，信息以人工在信息系统录入为主，信息流滞后于实际物流，仓储利用率低；仓储精细化管理能力差，对物资的批次、保质期管理能力欠缺，对于临期物资、呆滞物资不能及时提醒；在物流环节上，对于厂内物流配送不及时，影响生产、采购、交付等环节效率。

（2）改造场景

场景 1：智能仓储管理

通过结合 WMS、WCS 系统对企业内部仓储物流进行自动化改造，建立智能仓储系统。综合应用条码技术、RFID 等实现物料的追踪识别，统筹管理原材料入库、库存查询、成品出库等各项业务，实现物料的全流程跟踪和仓储的智能化管理；将 WMS、WCS 与 MES、ERP 进行集成，实现仓储信息与设计、生产、销售等环节数据的实时同步，并建立动态仓储管理模型，根据市场信息变化动态调整企业库存，支撑企业合理制定采购计划、产品交付计划等，降低原料、半成品、成品的库存水平，提高库存周转率。

场景 2：智慧物流管理

对企业内部仓储物流进行自动化改造，建立智能仓储系统，提高仓储环节自动化程度，通过智能仓储系统，对物资进行批次管理，实现先进先出；运用码垛机器人、AGV 进行物料的搬运；运用电子标签、RFID、传感器等信息采集与感应技术，实时记录物资库存情况；通过系统建立保质期与呆滞时间规则，对超期物资进行多方位预警；通过门禁系统、车辆排队系统对物流车辆进行管理，并通过对接物流服务商系统进行运输状态的管理。

（3）解决方案建议

智能仓储管理系统

企业应用 WMS、WCS 系统进行物料仓储管理，并将 WMS、WCS 系统与 ERP、MES 系统进行集成，实现物料仓储与生产制造的协同

管理，当生产现场产品移动到库存位置，MES 系统将包含产品批次、纯度、规格、环境要求等关键信息发送至 WMS 系统，WMS 系统根据接收到的信息，依据纳米金属产品对存储环境（如温度、湿度、洁净度等）的严苛要求，以及产品自身的特性和生产批次等因素，精准判定该产品应该放置的位置点，通过 WCS 系统合理调度物流设备，将产品运输到位置点，同时利用 WCS 系统，实时监控设备的运行状态，发现异常及时报警，并采集设备运行数据，为后续优化作业提供依据，后续同步将库存更新数据协同到 ERP 中，实现仓储智能管理。

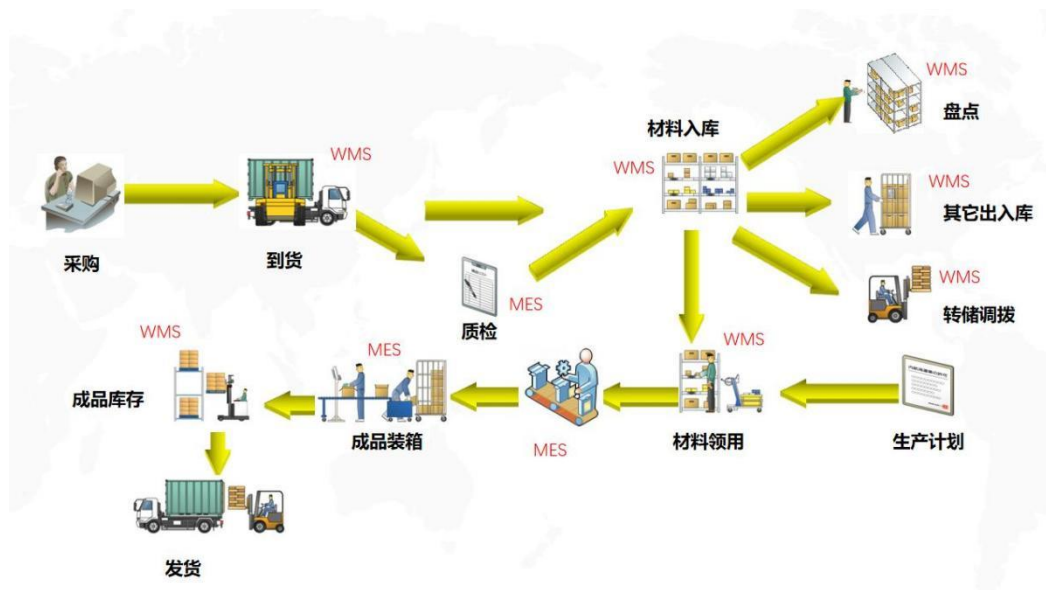


图 4-5 智慧物流管理系统

通过 WMS 系统对厂内外仓储物流进展全面管控，每个仓库、区域、货位、货架等划分点通过电子标签方式进行标记，同时在关键仓库、区域、货位、货架加装 RFID 感应器，对厂区内温湿度，见光度进行实时监控；针对企业厂区出入口设立智能门禁系统，根据生产线、

投料点、人员流动路线图，合理划分设施 AGV 运行路线和站点；门禁根据车牌信息识别车辆放行，车辆停放至指定装卸平台后，通过装卸机器人装卸货；在出入库时，通过数据采集与感应技术，将物料上的电子标签信息和所存储的货位编号进行关联，从而获取准确库存。

8、设备管理

（1）存在问题

纳米金属行业在设备管理中面临的问题主要包括：设备运行状态监测不足，纳米金属行业的设备管理在实时性和精确性方面存在不足，大多依赖传统的人工巡检和定期维护方式。这种管理方式效率较低，难以及时捕捉设备异常运行的早期信号，尤其在关键设备的复杂运行场景中，可能导致隐患积累，增加了突发故障的风险。故障诊断缺乏科学依据，在设备故障诊断中，许多企业仍然依赖经验判断，诊断方式较为被动，缺乏系统性和精准性。由于缺少科学的分析工具，设备潜在故障难以被及时发现，而设备运行数据未能有效转化为预防性维护策略，导致设备可靠性和稳定性难以保障。设备运行优化存在局限，设备运行多以既定参数为基础，缺少动态调整机制，未能充分结合生产需求实现精准优化，这种运行方式不仅制约了设备效率的提升，还可能导致能源的无效消耗。在“双碳”目标的压力下，这种管理模式显然无法满足可持续发展的要求。预测能力不足，对于设备故障的发生难以做出准确预测，通常采取被动应对而非主动预防的方式，这

导致企业在面对突发故障时措手不及，增加了应急处理的成本和时间，影响了生产的连续性和稳定性。

（2）改造场景

场景 1：设备在线运行监测

构建一个设备在线运行监测系统，通过安装传感器等物联网技术，对关键生产设备进行实时监控。具体而言，可以采用温度传感器、振动传感器、压力传感器、电流传感器等多种类型的传感器，配合无线通信技术（如 LoRaWAN、NB-IoT 等），将采集到的数据传输到中央监控系统。这些传感器能够全面覆盖各种工况下的监测需求，确保数据的实时性和准确性。此外，还可以利用边缘计算技术，在数据采集端进行初步处理和分析，减轻中央系统的负担，并提高响应速度。通过实时监测设备的各项参数，可以及时发现异常情况，从而采取预防措施，避免故障的发生。

场景 2：设备故障诊断与预测

构建一个设备健康管理及预测性维护平台，通过数据接入、数据治理、可视化建模技术，构建面向不同设备的健康管理及预测性维护业务中台，提供设备故障诊断、隔离、性能和寿命预测等相关模型管理及应用开发功能，利用大数据分析和机器学习算法处理收集到的数据，以识别异常模式并预测可能发生的故障。通过建立历史数据模型，可以提前预警潜在故障，从而采取预防措施。常见的算法包括支持向量机（SVM）、随机森林（Random

Forest)、神经网络 (Neural Networks) 以及深度学习方法。这些算法能够从大量数据中提取特征, 识别出设备运行中的异常模式, 并生成故障预测报告。同时, 可以结合专家知识库, 对预测结果进行校验和优化, 提高预测的准确性和可靠性。此外, 还可以引入故障树分析 (FTA) 和故障模式及影响分析 (FMEA) 等方法, 进一步增强故障诊断的能力。

场景 3: 设备运行优化

通过设备健康管理及预测性维护平台, 基于数据分析结果调整工艺参数或操作流程, 提高能源利用率和生产效率。通过对设备性能数据的持续监控和分析, 可以不断优化生产过程, 减少能耗和物料浪费。例如, 通过实时监控设备的运行状态, 动态调整工艺参数 (如温度、压力、速度等), 以达到最佳的生产效果。此外, 还可以利用仿真技术模拟不同配置下的生产过程, 评估不同方案的效果, 选择最优方案进行实施。这样不仅可以提高生产效率, 还能延长设备的使用寿命, 降低维护成本。通过引入智能控制算法 (如 PID 控制、自适应控制等), 可以实现对设备运行状态的精确控制, 进一步提高生产过程的稳定性和可靠性。

(3) 解决方案建议

设备运行监测和诊断

开发一个集成所有相关系统的企业级信息化平台, 打破信息孤岛现象, 实现数据共享。该平台应具备高度的可扩展性和兼容性, 支持

多种数据源的接入，并能够处理大规模的数据流。平台应包括数据采集、存储、处理和展示等多个模块，确保数据的一致性和准确性。同时，平台应具备强大的数据分析能力，支持多维度的数据挖掘和可视化展示，以便于管理人员进行决策。此外，为确保数据安全，平台应采用先进的加密技术和访问控制机制，防止数据泄露和未授权访问。通过建立统一的数据标准和接口规范，可以确保不同系统之间的数据无缝对接，提高数据的可用性和可靠性。

另外，应引入先进传感器，采用温度传感器、振动传感器、压力传感器、电流传感器等多种类型的传感器，配合无线通信技术（如LoRaWAN、NB-IoT等），确保能够全面覆盖各种工况下的监测需求。



图 4-6 预测性维护管理平台

结合历史数据建立数学模型，使用人工智能算法预测未来可能出现的问题，并提前采取措施避免损失。常见的算法包括支持向量机（SVM）、随机森林（Random Forest）、神经网络（Neural Networks）

以及深度学习方法。这些算法能够从大量数据中提取特征，识别出设备运行中的异常模式，并生成故障预测报告。通过建立一套完善的故障响应机制，确保在预测到故障时能迅速采取行动。响应机制应包括故障报警、自动停机、远程诊断等功能，减少故障对生产的影响。定期评估预测模型的准确性和可靠性，根据实际效果进行调整和优化。此外，还可以结合故障树分析(FTA)和故障模式及影响分析(FMEA)等方法，进一步增强故障诊断的能力。通过建立故障案例库，积累经验数据，提高预测的准确性。

9、安全能源环保管控

(1) 存在问题

纳米金属行业在安全、能源、环保管控中面临的问题主要包括：在安全管理方面，行业仍高度依赖人工巡检和传统设备监控手段，缺乏实时风险监测与预警系统，尤其在高温、高压及化学反应等高危场景下，设备故障或人为操作失误难以及时识别，导致隐患累积；应急处置体系效率不足，应急响应依赖人工调度与经验决策，信息化管理缺失导致事故处理滞后，资源协调能力弱，可能加剧事故后果。尽管部分企业引入自动化设备，但危险作业环节的自动化覆盖率仍较低，员工直接操作风险居高不下。能源管理层面，复杂生产工艺（如化学气相沉积、高温烧结）的能耗追踪困难，缺乏智能化监测系统导致能源浪费严重，老旧设备能效低下与实时监控机制缺失形成恶性循环；节能措施执行乏力，

设备异常修复延迟与员工节能意识薄弱共同推高能耗成本，反映出技术迭代与管理机制的双重短板。在环保管控领域，加工过程产生的含重金属（镍、铬离子等）废气废水若处理不当，可能通过吸附污染物形成复合毒性，而工业园区共享排污管道导致污染源追溯困难，加剧环境监管压力。

（2）改造场景

场景 1：应急处置决策优化

构建一个集成的信息化决策系统，在应急响应过程中，系统通过对历史事故、设备数据和实时监控信息的分析，自动评估事故风险等级，并提供科学的应急响应方案。同时，系统能够自动调配应急资源，如消防系统、灭火装置等，确保事故处理的及时性和准确性。结合 GIS 系统，实现人员、资源、设备的统一指挥调度，支持事前监测、事中指挥和事后评估。通过融合通信技术，实现现场人员、指挥中心和专家的实时协同会商，提升应急响应效率。

场景 2：建立能源管理中心

利用大数据分析技术，构建集中的能源管理系统，对采集到的数据进行深度分析。例如，通过机器学习算法预测未来的能源需求，识别出高耗能区域并提出改进建议；通过图表、仪表盘等方式将能耗情况直观地展示给管理层，便于做出决策。如使用 Power BI 或 Tableau 等工具生成动态报表，帮助管理人员快速了

解能源使用状况。

场景 3：在线监测系统

安装连续自动监测装置，实时上传污染物排放数据至云端平台。这些数据不仅可以供企业内部参考，还可以与环保部门共享，便于及时发现问题并采取应对措施。在纳米金属生产车间安装废气和废水监测设备，实时监控排放物浓度。

（3）解决方案建议

安全风险实时监测系统

在生产过程中，企业应建立安全风险实时监测系统，部署各种智能传感器，对关键设备和环境的安全参数进行实时采集。这些传感器将收集温度、压力、气体浓度等信息，并通过物联网技术实时传输到集中监控平台。在发生异常情况时，系统可以立即发出警报，帮助管理人员提前发现隐患并采取有效的预防措施，降低事故发生的可能性。

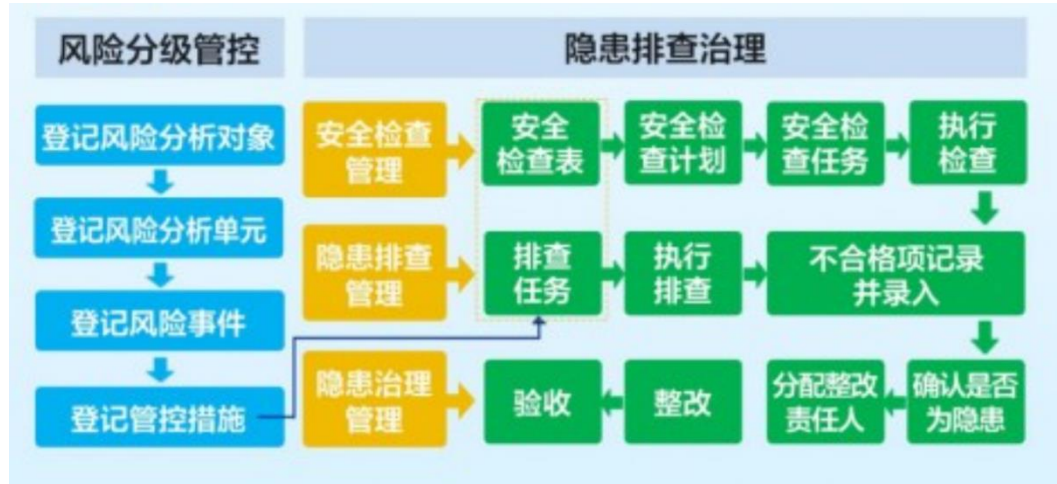


图 4-7 安全风险实时监测系统

引入机器人与自动化设备

为了减少危险作业中的安全隐患，企业可以引进更多的自动化设备和机器人。在一些高温、高压或化学品处理的作业场景中，机器人和自动化设备能够有效替代人工操作，避免由于人为因素导致的安全事故。此外，自动化设备能够持续保持高效的工作状态，提升生产效率和作业安全性。同时，企业可以借助虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术进行安全培训。通过模拟真实的工作环境和潜在的危险场景，员工能够在虚拟环境中进行应急演练，熟悉应急响应的流程和操作技巧。这种沉浸式培训不仅能增强员工的安全意识，还能提升他们在紧急情况下的应变能力，从而减少实际工作中的安全风险。

五、路径与方法

1、实施路径

(1) 企业整体实施方案

纳米金属行业智改数转网联应以构建研发设计数字化平台、实现生产全流程精准控制、强化能源环境安全智能监测、打造供应链协同网络为重点，在提升研发效率、保障产品质量、实现绿色安全生产的同时，推动纳米金属产业数字化、网络化、智能化水平迈上更高台阶。可先通过咨询诊断、智能制造能力成熟度评估明确智能化改造数字化转型发展方向，制定实施规划、实施路径，再通过联合专业的服务机构，开展转型升级建设工作。建设完成后，可根据建设情况，申请市、省、国家级荣誉及资金奖补。

纳米金属企业智改数转网联可按“规划-实施-评估-优化”4个主要步骤，制定整体实施方案，明确转型方向和目标，由点及面、由浅及深、由易及难分步推进。

1) 制定规划方案

企业综合利用两化融合管理体系、数字化转型成熟度、CMMM、DCMM等参考标准开展评估诊断，准确摸清企业数字化发展实际情况，识别转型痛点需求和应用场景，开展投入产出测算和风险评估，明确转型目标和方向。系统编制规划方案，体系化设计智改数转网联的目标愿景、任务框架、系统架构、技术路线、标准体系、实施任务、投入预算和保障条件，建立分阶段

子任务和实施项目清单,为下一步组织实施提供清晰明确的方向内容。

2) 组织落地实施

企业引导全员强化智改数转网联理念,设置首席信息官(CIO)、首席数据官(CDO)等岗位,持续提升互联网思维、大数据思维,推动基于数据的产品创新,优化产品数据服务。按需遴选外部服务商,强化软件开发商、自动化集成商、平台服务商的深度整合,形成系统实施推进合力。深度介入外包开发过程,强化过程监督、质量管控和知识产权保护,推动智改数转网联项目与企业业务更好适配融合,充分运用新一代信息技术提高精益管理能力、提升运营效率,不断优化方案实施效果。

3) 开展成效评估

企业以经营目标改善和业务流程优化为导向,开展实施绩效评价,聚焦营收增长率、利润率、研发周期、生产运营效率、库存周转率、客户满意度等指标,梳理总结转型目标达成情况,提出优化改进方向。开展智改数转网联能力评价,聚焦系统易用性、标准符合性、数据质量水平等指标,梳理总结存在的问题,提出改进措施。成效评估可采用自评估或第三方评价等方式,企业参与评估人员应涵盖企业管理者、各业务部门责任人以及一线技术工人。

4) 推进迭代优化

企业根据智改数转网联成效评估结果，针对实施过程中的短板和不足，迭代解决方案版本，强化安全防护，优化实施效果。立足自身战略定位和业务发展方向，进一步制定下阶段智改数转网联目标和任务，统筹推进业务、场景的数字化、智能化升级，持续强化全流程精益管理水平，实现智改数转网联的螺旋式提升。

（2）大中小企业差异化路径

1）大型企业搭建平台生态

大型企业应当坚持系统思维、创新引领，制定整体实施方案，推进全流程、全场景、全链条智改数转网联工作。建设工业互联网平台，提升数据采集、知识沉淀、业务打通、生态搭建等能力，实现数据驱动的智能生产决策和运营深度优化。融合人工智能、大数据等新一代信息技术，创新业务模式，构建研发设计、生产制造与供应链协同的制造体系，探索用户个性需求与设计制造精准对接的机制创新，推动面向质量追溯、设备健康管理、产品增值服务的服务化转型，培育新的业务增长点。在此基础上，大型企业还要发挥引领带动作用，以提高产业链协作效率和供应链一体化协同水平为导向，增强产业链供应链竞争力，引导上下游企业开放制造能力、设计创意、专业知识，推动订单协同、研发协同和服务协同，提升社会制造资源配置效率。

2）中型企业系统集成改造

中型企业已经在部分领域进行了转型与改造，应当开始着手制定全面的智改数转网联战略，逐步明确转型目标和实施路径，重点加强内部系统的集成，围绕产品数字孪生、设计制造一体化、个性化定制等复杂场景开展系统化集成改造，消除企业各部门、各环节之间的数据壁垒，实现企业内部数据的共享与流通。系统实施精益生产管理，深入推进流程优化工程，强化网络互联互通能力，持续提高生产效率和产品质量，增强企业核心竞争力。同时，中型企业需要通过培训提升现有员工的数字化技能，并引入数字化领域的专业人才，提升企业改造升级的技术实力。

3) 小型企业重点场景改造

小型企业在资金、技术和人才方面相对处于劣势，需要更多的外部支持和灵活的策略来实现转型。首先，中小企业需要提高对智改数转网联重要性的认识，通过指派核心员工参加行业研讨会、培训课程等方式，增强对智改数转网联的理解和接受度。其次，应当选择重点场景进行智改数转网联改造，考虑自身资源条件限制，开展普惠性上云用数赋智，积极上云上平台，充分利用工业互联网平台的云化研发设计、生产管理和运营优化等订阅式产品服务，实现业务系统向云端迁移，提升企业经营水平。最后，小型企业可以与大型“链主”企业建立合作伙伴关系，强化与龙头企业的标准适配、信息共享、业务协同，全面融入产业链供应链。

表 5-1 大中小型企业数字化转型场景

能力域	能力子域	小型企业	中型企业	大型企业
战略与组织	组织战略	重点场景改造 初建基础能力	系统集成 补充缺项环节	平台化战略 引领产业链 协同发展
	人员技能	系统学习使用	改造\集成\安全	架构\平台开发
基础能力	装备升级	自动化设备	装备联网集成	智能化装备
	网络设施	上网上云	网络质量提升 宽带扩容	建设专网
	数据采集	关键环节加装传感器、 仪表	构建数据集成平台、 关键数据库	工业大数据分析、 智能化应用
	信息安全	购买基础的信息安全软件\服务	设置安全岗位 实施多层防御	全面安全体系 网络隔离 数据备份
研发设计	产品数字化研发	◎	◎	◎
	虚拟实验			◎

	与调试			
	数据驱动 产品优化		◎	◎
	工艺数字 化设计			◎
	可制造性 设计			◎
生产制 造	生产计划 优化	◎	◎	◎
	车间智能 排产		◎	◎
	资源动态 优化		◎	◎
	工艺动态 优化		◎	◎
	先进过程 控制	◎	◎	◎
	智能协同 作业			◎
	网络协同 制造			◎

	质量精准 追溯		◎	◎
	产品质量 优化			◎
	在线运行 监测	◎	◎	◎
	设备故障 诊断\预测		◎	◎
	设备运行 优化		◎	◎
	智能仓储		◎	◎
	精准配送		◎	◎
安全、 环境与 能耗管 控	危险作业 自动化		◎	◎
	污染监测 与管控	◎	◎	◎
	碳资产\废 弃物管理			◎
	能耗数据 监测	◎	◎	◎
	效能平衡			◎

	与优化			
供应链	供应链计划协同优化	◎	◎	◎
	产供销一体化			◎
	采购动态优化		◎	◎
	供应链智能配送与动态优化			◎
	供应商数字化管理			◎
	供应链风险预警与弹性管控		◎	◎

2、相关政策

(1) 诊断评估

纳米金属行业企业通过诊断评估,将有助于在数字化转型过程中精准定位当前能力短板,并为后续智改数转网联工作制定清晰实施路径。表格中为企业数字化转型过程中常用的诊断评估模

型。

表 5-2 企业数字化转型诊断评估模型

序号	诊断模型	特点	适用企业
1	中小企业数字化水平评测	为企业提供数字化转型方向指引	小微初创企业
2	两化融合评估	强调信息化与工业化融合	中小型企业
3	智能制成熟度评估	聚焦评估智能制造能力	中大型企业
4	数字化转型成熟度评估	侧重于全局性战略转型与生态创新	集团型企业

以下为几项诊断模型的具体信息：

1) 中小企业数字化水平评测

《中小企业数字化水平评测指标(2024 年版)》延续 2022 年版整体架构，从数字化基础、经营、管理、成效四个维度综合评估中小企业数字化发展水平，并对评测方式进行了调整优化。其中，数字化基础、管理和成效三个维度采用评分的方式确定等级，数字化经营部分用场景等级判定的方式确定等级。评测网址：

<https://zjtx.miit.gov.cn/zxqySy/main>

主要内容如下：

由 3 个一级指标，9 个二级指标，15 个采集项组成。采用评分方式判定中小企业该部分数字化水平等级。

一级指标	数字化基础						数字化管理				数字化成效				
二级指标	设备系统		数据采集	信息系统	信息安全		规划管理		要素保障		绿色低碳	产品质量	市场效益		
采集项	网络建设	设备数字化	设备联网	数据采集	信息系统	网络安全	数据安全	规划实施	管理机制	人才建设	资金保障	绿色低碳	产品质量	市场表现	价值效益

图 5-1 中小企业数字化水平评测体系

2) 两化融合自评估

两化融合自评估基于《工业企业信息化和工业化融合评估规范》（国家标准 GB/T23020），利用国家两化融合公共服务平台江苏省分平台，开展两化融合及数字化转型重点指标自评估，从而客观掌握企业自身数字化水平基本情况。登录网址为 <https://jspg.cspiii.com>。



图 5-2 两化融合自评指标体系

国家工业信息安全发展研究中心每年 10 月完成全国及各省的两化融合发展水平及评估报告，12 月完成江苏省各设区市两化融合及数字化转型重点指标评估报告，以及各地组织参评工作情况报告。

3) 智能制造能力成熟度评估 (CMMM)

《智能制造能力成熟度模型》(GB/T39116-2020)规定了智能制造能力成熟度模型的构成、成熟度等级、能力要素和成熟度要求。该标准适用于制造企业、智能制造系统解决方案供应商和第三方开展智能制造能力的差距识别、方案规划和改进提升。

企业可以通过智能制造数据资源公共服务平台 (<https://www.c3mep.cn/>)开展智能制造能力成熟度自评。通过自评可判定企业智能制造整体水平,帮助企业识别当前智能制造发展现状,提供与同行业同地区企业对比分析报告。

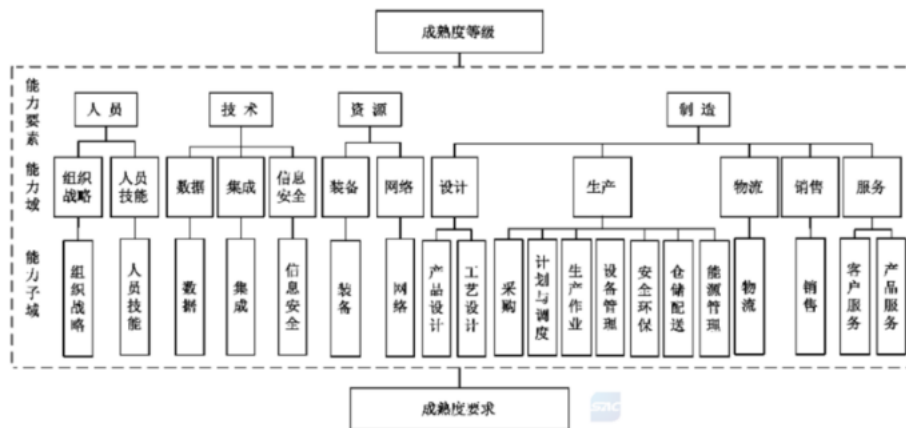


图 5-3 智能制造能力成熟度模型

4) 数字化转型成熟度评估

《数字化转型成熟度模型》(T/AIITRE 10004—2023)给出了数字化转型成熟度模型构成、不同成熟度等级与水平档次的要求。明确了数字化转型规范级、场景级、流程级、平台级、生态级 5 个不同成熟度等级及其 10 个细化水平档次，从发展战略、新型能力、系统性解决方案、治理体系、业务创新转型 5 个评价域给出不同成熟度等级的具体要求。

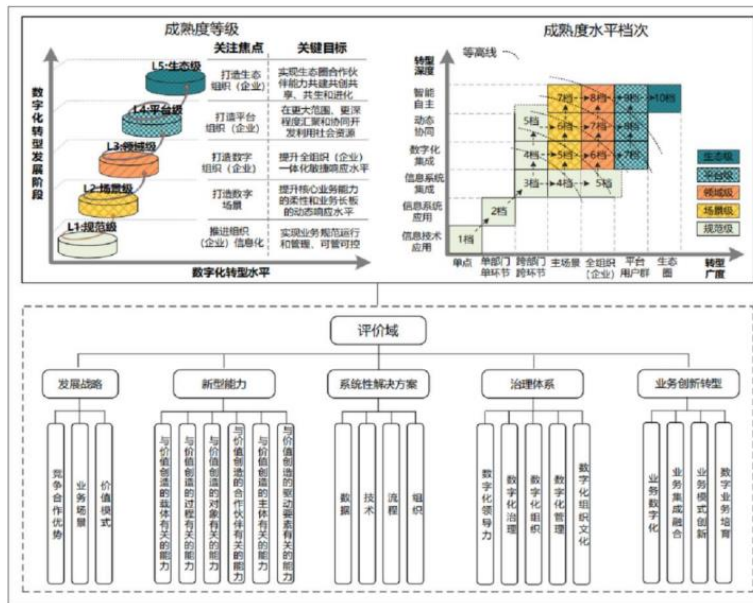


图 5-4 数字化转型成熟度模型

企业可以通过线上线下结合方式展开诊断对标，线上（<https://www.dltx.com/zhenduan>）自诊断报告包括数字化转型总体得分、所处阶段、全国对标及行业对标情况在发展战略、新型能力、系统性解决方案、治理体系、业务创新转型等方面的短板和发展建议数字化转型总体发展建议。线下深度诊断将邀请评审专家将评估发现和行业进行对标评估过程提供咨询建议，最终给出线下深度诊断报告——包含企业发展现状和问题清单。

（2）项目申报

纳米金属行业企业在数字化转型过程中，可根据自身数字化转型水平，申报相应的国家级、省级荣誉项目，获取政府提供的奖补资金，同时有助于提升企业在行业内的影响力。表格中为梳理的相关荣誉项目。

表 5-3 数字化转型荣誉项目

序号	级别	荣誉名称
1	国家级	卓越级智能工厂
2		5G 工厂名录
3		实体经济和数字经济深度融合典型案例
4		人工智能赋能新型工业化典型应用案例
5		物联网赋能行业发展典型案例
6		专精特新“小巨人”企业
7	省级	先进级智能工厂
8		制造业“智改数转网联”示范企业
9		省级专精特新中小企业

以下为申报项目具体信息：

国家级

为推进企业数字化转型，加快培育基于工业互联网平台的新模式新业态，贯彻落实国家区域重大战略，工信部每年组织多类试点示范项目。企业编写申报材料报送省工信厅，由省工信厅推荐报送工信部。

1) 卓越级智能工厂。工业和信息化部、国家发展改革委、财政部、国务院国资委、市场监管总局、国家数据局决定联合开展智能工厂梯度培育行动，按照《智能工厂梯度培育行动实施方案》《智能工厂梯度培育要素条件》，分基础级、先进级、卓越级和领航级四个层级开展智能工厂梯度培育。六部门决定共同组

织开展卓越级智能工厂培育工作。《六部门关于开展 2024 年度智能工厂梯度培育行动的通知》开展了“2024 年度卓越级智能工厂培育工作”，发布于工信部网站。

2) 5G 工厂名录项目。为深入推进“5G+工业互联网”创新发展，持续实施 5G 工厂“百千万”行动，加快高水平 5G 工厂建设，推动数字经济和实体经济深度融合，推进各行业领域企业“智改数转网联”，工信部组织开展 5G 工厂名录项目遴选工作。《关于组织开展 2024 年 5G 工厂名录项目遴选工作的通知》发布于工信部网站。

3) 实体经济和数字经济深度融合典型案例。面向实体经济和数字经济深度融合发展需求，围绕数字化转型通用工具产品、工业互联网平台创新领航应用、数字领航企业实践、数字化供应链生态等 4 个方向，挖掘一批创新性强、渗透性好、覆盖度高的典型案例，为更多地方和企业应用新一代信息技术、做强做优实体经济提供路径参考。《工业和信息化部办公厅关于组织开展 2024 年实体经济和数字经济深度融合典型案例征集工作的通知》发布于工信部网站。

4) 人工智能赋能新型工业化典型应用案例。以人工智能赋能新型工业化为主线，围绕“技术底座、行业应用、装备产品、支撑保障”4 大领域，开展典型应用案例征集。《工业和信息化部办公厅关于组织开展人工智能赋能新型工业化典型应用案例

征集工作的通知》发布于工信部网站。

5) 物联网赋能行业发展典型案例。结合“十四五”规划中数字经济方面的智能交通、智慧能源、智能制造等应用场景，面向行业应用、社会治理、民生消费以及与新产业融合四个领域，聚焦十四个具体方向开展典型案例征集。《工业和信息化部办公厅关于组织开展 2024 年物联网赋能行业发展典型案例征集工作的通知》发布于工信部网站。

6) 专精特新“小巨人”企业。省级专精特新中小企业可提出专精特新“小巨人”企业申请。《工业和信息化部办公厅关于开展第六批专精特新“小巨人”企业培育和第三批专精特新“小巨人”企业复核工作的通知》发布于工信部网站。专精特新“小巨人”企业申请和复核采取线上填报与线下报送相结合的方式。线上填报地址为优质中小企业梯度培育平台（<https://zjtx.miit.gov.cn>）。线下报送有关要求以企业属地中小企业主管部门要求为准，线下与线上数据应保持一致

省级

为加快推动江苏制造业高质量发展，省工信厅每年认定各类标杆示范项目，由企业撰写申报材料，各设区市工信局推荐上报，省工信厅组织材料评审和专家核查，遴选出一批标杆示范企业。

1) 先进级智能工厂。按照工信部等部委《智能工厂梯度培育行动实施方案》等文件，由我省工信厅会同相关部门组织开展

先进级智能工厂评审认定工作，并推荐符合条件的申报卓越级智能工厂。申报企业需通过江苏政务服务网江苏省工业和信息化厅旗舰店智能工厂（<https://www.jszfw.gov.cn/col/col140127/index.html>）等级水平自评测达到先进级智能工厂等级水平，且智能制造能力成熟度（<https://www.c3mep.cn/>）自评价水平达到 GB/T39116-2020《智能制造能力成熟度模型》二级及以上。《关于组织开展 2025 年先进级智能工厂申报工作的通知》发布于省工信厅网站。

2) 制造业“智改数转网联”示范企业。为深入贯彻省委、省政府《加快建设制造强省行动方案》《江苏省制造业智能化改造和数字化转型三年行动计划（2025-2027）》等文件精神，认真落实全国、全省新型工业化推进会议部署要求，积极实施智能化改造、数字化转型、网络化联接三大行动，省工信厅、财政厅联合开展江苏省制造业“智改数转网联”示范企业（以下简称“示范企业”）申报工作。2024 年申报示范企业包括省智能制造示范车间、省智能制造示范工厂（含 5G 工厂、工业互联网标杆工厂）、省“智改数转网联”标杆企业、省重点工业互联网平台（含企业级、行业级、区域级、双跨级）四类。《关于组织开展 2024 年江苏省制造业“智改数转网联”示范企业申报的通知》发布于省工信厅网站。

3) 省级专精特新中小企业。申报企业须为中小企业（符合

《中小企业划型标准规定》（工信部联企业〔2011〕300号），在江苏境内注册，具有独立法人资格，经营和信用状况良好，纳入“江苏省优质中小企业培育库”的在库企业（年度新增入库或数据更新通过审核），且公告为创新型中小企业（有效期内）。优先推荐属于“1650”产业体系重点领域企业。申报采取线上填报与线下报送相结合的方式。企业按照自愿申报原则，进入江苏政务服务网江苏省工业和信息化厅旗舰店（<https://www.jszfw.gov.cn/col/col140127/index.html>），在线办理“专精特新中小企业培育和认定”，通过统一身份认证系统登录后，按照申报步骤和要求填报《江苏省专精特新中小企业申报书》并上传相关佐证材料。纸质申报书需由企业通过线上系统直接打印。

（3）相关资源

智能化改造数字化转型服务资源池

智能化改造数字化转型服务资源池（<https://www.eqiyun.cn/>），是集聚制造业智能化改造和数字化转型服务商的平台，促进企业与服务商之间的供需对接。服务资源汇聚七大类服务商：智能装备服务商、网络服务商、标识服务商、工业互联网融合应用服务商、系统解决方案服务商、工业信息安全服务商、生产性服务业供应商。服务商在资源池开设店铺展示产品，制造企业可以高效获取服务商信息和服务能力。

资源池同时汇聚智能化改造数字化转型解决方案，面向企业“减存”“增效”“降本”“提质”，提供丰富的解决方案供企业参考和对接服务商。



图 5-5 智能化改造数字化转型服务资源池

江苏省中小企业公共服务平台

根据工信部、财政部重点工作部署，建设江苏省中小企业公共服务平台。多年来，平台一直坚持服务中心、服务企业、服务政府的“三服务”理念，紧紧围绕省工信厅各项重点工作部署，强化平台顶层设计，统筹内容与功能，兼顾线上与线下，建设“1+4+N”框架，即建成一个省市县联动子平台、“享政策、找服务、获融资、云学堂”四大服务模块，探索“拓市场”等N个新服务领域，使平台成为“数字工信”“一体两翼”建设的重要组成部分，促进产业链供需对接的桥梁、中小企业服务体系

支撑。网址 <https://www.smejs.cn/>。



图 5-6 江苏省中小企业公共服务平台

中小企业数字化转型公共服务平台

中小企业数字化转型公共服务平台依托国家工业互联网大数据中心建设，基于工信部发布的《中小企业数字化转型指南》和《中小企业数字化水平评测指标（2024年版）》（详见工信部网站）开展线上评测，为中小企业数字化转型自评估提供科学工具，支撑专精特新中小企业培育遴选工作，推动实现中小企业数字化转型服务、政府管理职能赋能和行业评估评测相结合。（网址 <http://caii-sme.indusforce.com/#/home>）

通过线上平台评测，企业可以掌握自身数字化发展水平，评测结果将作为《优质中小企业梯度培育管理暂行办法》（工信部企业〔2022〕63号）中“专精特新中小企业认定标准”第5个评

价指标“数字化水平”的评价依据。企业还可在平台查看数字化转型案例集，包括政府推进模式案例、“链式”转型典型案例等。



图 5-7 中小企业数字化转型公共服务平台

六、愿景与展望

江苏推进数实融合发展，突出“融”与“强”两个关键字，坚持以智能制造为主攻方向，把“智改数转网联”作为制造业高质量发展的关键举措，形成数实融合最具标识性的发展路径。截至2024年7月末，江苏省累计开展“智改数转网联”免费诊断企业超5.1万家，实施“智改数转网联”改造项目约5.6万个；全省企业关键工序数控化率达到63.7%，经营管理数字化普及率达到85%，数字化研发设计工具普及率达到89.4%，两化融合水平连续9年全国第一。

纳米金属行业作为高端制造业的重要组成部分，正经历着从传统制造向智能制造的深刻转变。当前，尽管部分领先企业已在

研发设计、生产制造、质量管控等环节初步实现了数字化转型，但行业整体在智能化、信息化方面仍有较大提升空间。具体而言，行业内部分企业尚未建立完善的信息基础设施，如数据中心、云计算平台等，导致数据孤岛现象严重，信息流通不畅。同时，大数据与人工智能的应用虽有初步尝试，但整体应用深度和广度仍有待加强，供应链协同、安全生产、销售服务等环节也存在数智化转型的迫切需求。面对上述挑战，纳米金属行业需进一步加快智能化转型步伐，充分利用新技术推动行业高质量发展：

一是全面建设新一代信息基础设施和网络。除 5G/5G-a、标识解析、物联网等典型工业互联网技术外，加强 TSN（时间敏感网络、）PON（无源光网络）、Redcap 以及工业总线等新技术的应用将成为行业转型的基石。Redcap 技术则以其低功耗、高可靠性，支持大规模设备连接，实现智能化生产。TSN 技术确保数据传输的低延迟、高精度，满足时间敏感型应用需求，提升生产效率。工业总线技术实现设备间的无缝集成与数据共享，促进生产现场的协同工作。

二是深度应用大数据与人工智能等先进数字技术。通过建立新型纳米金属工艺数据库，结合人工智能和仿真数据，实现数据存储、查询、分析、工艺设计、优化、异常监控、应用模拟等功能，推动行业在材料研发、工艺优化等方面的持续创新。在此基础上，进一步结合跨尺度 3D 制造、材料合成逆向设计、闭环智

能合成以及力学性能建模优化等关键智能制造场景，实现了数智化技术的深度融合与创新应用。跨尺度 3D 制造技术实现精确控制纳米级材料的结构，完成复杂形状和功能的定制化生产；材料合成逆向设计则通过逆向工程方法，从目标性能出发，反向设计并优化材料合成路径；力学性能建模优化则通过高精度数学模型，预测并优化材料的力学性能，满足特定应用场景的需求。

三是探索应用数字主线、区块链等融合信息技术。扩大数字孪生、数字主线等技术的应用范围，通过建立虚拟模型对生产过程进行模拟和优化，降低试错成本。数字孪生技术将实际生产过程与虚拟模型相结合，实现生产过程的实时监控和优化调整。数字主线技术则贯穿产品全生命周期，从研发设计到生产制造、质量管控、供应链协同、安全生产、销售服务等环节，实现数据的无缝集成和共享。加快纳米传感器、高精度光谱仪等新型传感器和检测技术的应用，不断提高生产过程的精度和可靠性。此外，引入区块链技术可以提升供应链协同能力，确保原材料和产品的可追溯性。

四是持续完善智能化制造环节支持和决策系统。构建集成度更高的智能化决策支持系统，实时、全面地分析生产数据、市场需求、行业动态等多维度信息。在研发设计环节，智能化决策支持系统可以尝试引入更先进的材料基因组学方法，辅助设计师快速筛选和评估新材料，加速研发进程。在生产制造环节，尝试搭

载自适应生产计划优化系统，提升生产效率和资源利用率。在质量管控环节，尝试引入质量数据追溯和分析，帮助企业识别质量问题的根源，持续改进生产流程。在供应链协同环节，系统应实现上下游企业的信息共享和协同作业，通过区块链等技术保障数据安全与可信。在安全生产环节，尝试引入系统应支持应急响应预案的制定和执行，提高应对突发事件的能力。通过持续完善智能化制造环节的支持与决策系统，提升企业整体运营效率，引领纳米金属行业向更高效、更智能、更可持续的方向发展。

附件：

- 1.人工智能典型应用场景
- 2.投入改造清单及图谱
- 3.典型案例
- 4.服务商目录
- 5.技术缩略语

附件 1 人工智能典型应用场景

人工智能典型应用场景

应用场景 1：人工智能赋能材料设计与性能预测

人工智能在材料设计与性能预测领域通过机器学习、深度学习和数据驱动方法，深度解析纳米金属的原子结构、成分与性能的复杂关系，突破传统试错法的局限。例如，人工智能可构建高通量计算模型，结合材料基因工程，从海量数据中筛选最优成分组合与合成路径；利用遗传算法和贝叶斯优化算法实现纳米颗粒形态与尺寸的精确控制；基于人工神经网络预测材料的吸附能、催化活性等关键性能参数，如铜基合金的 CO 吸附能预测模型为催化剂设计提供理论依据。这些技术使新材料研发周期从 10-20 年缩短至数月，成本降低 60% 以上。在纳米金属企业应用层面，典型案例包括：美国斯坦福大学团队开发的自主研究系统（ARES）通过强化学习优化碳纳米管合成参数，实验成功率从 8% 提升至 68%；多伦多大学联合韩国团队运用多目标贝叶斯优化算法，设计出密度仅 215kg/m^3 、强度达 360MPa 的梯度结构碳纳米晶格，其强度-重量比比传统材料提升 118%；国内某科研机构基于卷积神经网络分析纳米银颗粒的高通量实验数据，建立尺寸-催化活性预测模型，实现燃料电池催化剂活性预测准确率达 92%。

应用场景 2：人工智能赋能实验流程优化

人工智能在纳米金属实验流程优化中通过集成机器学习算法（如强化学习、贝叶斯优化）与自动化实验平台，实现动态参数调控与闭环优化。AI 系统实时分析在线光谱、电子显微镜成像等多维数据，自主调整温度、前驱体浓度、光照强度等关键参数，显著减少传统试错实验次数。例如，多伦多大学开发的 AFION 系统结合微流体反应器与 Gryffin 算法，在 30 小时内完成 8 种纳米颗粒的合成优化，通过同时追踪等离子体共振波长、半高宽等指标实现多目标优化。中铝材料院联合华为构建的“金属智眼”系统，基于视觉大模型实现金相组织自动识别，将工艺参数优化效率提升 3 倍。格拉斯哥大学的自主化学合成机器人通过紫外-可见光谱反馈与强化学习算法，将金纳米粒子合成产率提升至 95%，实验次数压缩至传统方法的 1/10。在纳米银可控合成中，斯坦福团队开发的遗传算法成功优化还原剂梯度添加策略，使粒径分布离散度降低至 5% 以下。AI 驱动的闭环实验系统通过“数据采集-模型预测-参数迭代”的智能循环，正重塑纳米金属研发范式。

应用场景 3：数字孪生与虚拟仿真

通过构建高精度虚拟模型实时映射物理生产过程，实现了对材料行为的深度解析与优化。例如，基于多目标贝叶斯优化算法，研究人员可设计纳米晶格结构以平衡强度与重量，并通过仿真模拟极端温度、压力下的应力分布，预测裂纹萌生等失效模式。数字孪生平台还能整合传感器数据，动态调整纳米金属合成参数（如温度梯度、沉积速率），优化晶界分布并抑制缺陷形成，使材料抗疲劳性能提升 30% 以上。在纳米金属企业实践中，云铝股份开发了电解槽数字孪生模型，实现纳米级氧化铝添加量的分钟级智能调控，使材料孔隙率降低至 0.5% 以下；德方纳米引入 AI 智能制造系统，通过实时监测纳米颗粒成核过程，将银纳米线直径控制精度提升至 $\pm 2\text{nm}$ 。须臾科技推出的 SIMO 智能体平台，结合视觉大模型实现纳米晶金属表面缺陷的微米级检测，缺陷识别准确率达 99.7%。中铝材料院与华为合作开发的“金属智眼”系统，利用迁移学习技术对纳米析出相进行三维重构，助力高强铝合金的晶粒尺寸优化达到 $10\mu\text{m}$ 级。

应用场景 4：人工智能赋能工艺参数智能调控

人工智能在纳米金属行业工艺参数智能调控中通过部署 AI 模型实时采集反应温度、压力、溶液浓度等多维数据，结合物理引导神经网络（PINN）与贝叶斯优化算法构建动态闭环控制系统，实现工艺参数的自主决策与在线修正。例如在纳米金连续合成中，AI 系统基于紫外-visible 光谱反馈实时调整还原剂注入速率、pH 值及搅拌强度，将粒径分布标准差控制在 $\pm 1.2\text{nm}$ 以内；德方纳米采用深度学习驱动的参数优化平台，通过分析反应釜温度梯度与成核动力学关系，将纳米银线长径比合格率提升至 98.5%。康奈尔大学与清华大学联合团队开发的智能合成机器人，运用迁移学习算法对镍基合金多步合成过程进行跨工序参数匹配，成功将纳米晶粒尺寸调控精度提高 40%，而中铝材料院联合华为开发的“金属智眼”系统，通过视觉大模型实时解析金相图谱，动态优化退火温度与冷却速率，使纳米氧化铝相变控制效率提升 3 倍。

应用场景 5：人工智能赋能设备健康管理

人工智能在纳米金属行业设备健康管理中通过"机理+人工智能"双引擎驱动实现全生命周期管控，基于 LSTM 等时间序列模型分析振动、温度等高频信号，融合设备历史维护记录与工艺参数构建多维度特征。例如某纳米铜企业部署 AI 系统实时采集喷雾干燥机振动频谱，通过深度神经网络捕捉轴承异常频率特征，提前 48 小时预警微米级磨损，结合设备负载率和润滑数据建立动态健康评分模型，使维护成本降低 35%。在纳米铝箔轧制场景，AI 通过关联轧辊振动波形与金属晶粒度数据，自主构建轧机齿轮箱故障知识图谱，准确率较传统方法提升 28%，当检测到轧制力异常波动时，强化学习模型自动优化轧制参数组合避免断带事故。某纳米银线生产企业运用 AI 视觉实时监测磁控溅射设备等离子体光谱，通过卷积神经网络识别靶材异常消耗模式，结合设备电流曲线预测靶材剩余寿命误差控制在 ± 2 小时，同步联动 MES 系统实现备件精准调度，年减少非计划停机达 420 小时，良品率提升 1.7 个百分点。

应用场景 6：人工智能赋能能耗与资源优化

人工智能在纳米金属行业能耗与资源优化领域的应用，主要通过实时数据监控与自适应算法实现能源动态分配。例如，AI 系统可集成热电材料回收余热技术，优化纳米银电化学合成的反应参数（如温度、电流密度），将余热转化为电能循环利用，降低综合能耗达 25%。深度强化学习算法还能预测纳米金属生产设备（如高能球磨机、气相沉积炉）的故障风险，通过提前维护减少停机损耗。在资源管理方面，AI 驱动的多目标优化模型可平衡原材料配比与能源消耗，例如通过分析纳米氧化物合成过程中的反应动力学数据，动态调整还原剂用量，将贵金属利用率提升至 98%。在纳米金属企业应用层面，典型案例包括：德方纳米采用 AI 算法优化纳米磷酸铁锂正极材料的烧结工艺，通过实时监测窑炉温度曲线与气体流量，动态调节氧气供应量，使单位产品能耗降低 18%；中铝材料院联合华为开发“金属智眼”系统，利用视觉大模型分析纳米铝基复合材料的金相结构，智能匹配最佳退火温度与时长，减少热处理工序能耗 30%；某企业应用 AI 驱动的虚拟电厂技术，将纳米铜粉制备车间的空压机、冷却塔等设备接入智能调度平台，利用负荷预测模型错峰运行，年节省电费超 200 万元。

应用场景 7：人工智能赋能缺陷检测与分类

人工智能在纳米金属缺陷检测与分类领域通过计算机视觉与深度学习技术的深度融合实现突破性进展，基于卷积神经网络（CNN）和 Transformer 架构的模型可精准识别纳米级颗粒的团聚、形变及表面污染，例如采用 YOLOv8 模型对扫描电镜图像进行实时分析，结合图像分割技术和对比学习算法，能够将亚微米级缺陷的检测精度提升至 99.5% 以上。通过多模态数据融合技术，系统可同步处理电子背散射衍射（EBSD）数据、热成像信号与成分光谱信息，利用生成对抗网络（GAN）模拟缺陷演变规律，实现动态工艺参数优化，使检测速度较人工提升 300 倍，误检率低于 0.3%。 纳米金属企业典型应用案例包括：美国阿贡国家实验室开发 AI 增强脉冲红外热成像（PIT）技术，结合残差神经网络处理增材制造纳米钛合金的热扩散特征，成功识别 100 微米级内部裂纹；日本三菱材料联合 NVIDIA 部署的在线检测系统，采用电子背散射衍射数据训练 YOLOv8 模型，实现纳米银线 $0.2\mu\text{m}$ 晶界缺陷的实时分类；中国某研究院基于 SEM-CLIP 框架，利用少样本学习策略分析纳米铜粉体扫描电镜图像，通过专家知识文本提示增强特征提取，将表面氧化污染检测准确率稳定在 99.5% 以上；德国巴斯夫集团则构建联邦学习平台，整合全球 12 个生产基地的纳米钴颗粒检测数据，通过迁移学习实现跨产线缺陷知识共享，使新产线模型训练周期缩短 80%。

应用场景 8：人工智能赋能实时质量监控

人工智能在纳米金属行业的实时质量监控中，通过集成高精度传感器与 AI 算法实现全流程动态追踪与闭环控制。借助机器视觉、激光光谱和物联网技术，系统实时采集纳米材料成分、表面形貌、厚度均匀性等关键参数，结合深度学习模型分析微观缺陷（如晶界异常、孔隙率超标等），并联动设备自适应调整溅射功率、沉积速率等工艺参数，将传统离线抽检升级为 100% 在线监测。例如某企业部署 AI 视觉检测系统，采用 3D 高光谱成像技术，以 $0.1\ \mu\text{m}$ 分辨率实时扫描纳米金薄膜表面，通过卷积神经网络识别厚度偏差超过 $\pm 2\%$ 的区域，同步反馈至磁控溅射设备，动态修正靶材电流与腔室气压，使产品合格率从 82% 提升至 98.5%。企业结合激光诱导击穿光谱（LIBS）与强化学习算法，构建纳米银颗粒粒径预测模型，实时监测雾化烧结过程中的粒径分布，当 D50 值偏离设计范围时，系统在 3 秒内触发雾化压力补偿机制，将粒径一致性标准差降低至 0.8nm。

应用场景 9：人工智能赋能智能货位规划

人工智能在智能货位规划领域的典型应用场景中，通过 AI 算法深度整合纳米金属的物理特性（如避光、防氧化要求）、环境参数（温湿度、洁净度）及出入库动态数据，实现存储空间的智能优化。AI 系统可实时分析纳米材料的周转率、储存稳定性需求（如纳米铜粉体易氧化需避光干燥环境）、设备布局等因素，采用蜂巢式动态存储算法，将高频次出入库的物料自动分配至靠近分拣口的“黄金区位”，同时根据材料形态（粉体、线材）自动匹配堆叠规则，减少搬运损耗。例如，AI 通过模拟量子纠缠效应预测爆款材料的流动趋势，动态调整货位分布，使库内行走距离缩短 40% 以上，并结合 UWB 定位技术实现 $\pm 5\text{cm}$ 精度的货架指引。在应用案例方面，某纳米金属企业利用 AI 重构仓储逻辑，针对纳米银导电浆料对温湿度敏感的特性，通过 AI 驱动的三维热力图分析库内环境稳定性，将材料存储区自动避开冷热交替区域，并结合历史订单数据建立动态补货模型，使高周转率区域的搬运效率提升 35%。德方纳米则通过 AI 算法优化纳米磷酸铁锂材料的存储布局，根据粒径分布（20-100nm）和防潮等级自动划分存储单元，结合 AGV 集群的实时路径规划，使仓库空间利用率提升 28%，物料调取响应速度加快 50%。

应用场景 10：人工智能赋能动态库存管理

人工智能在纳米金属行业的动态库存管理中展现出显著价值，通过整合多维度数据（如历史销售、市场波动、供应链实时状态）构建预测模型，AI 能够精准预测纳米金原料需求并动态调整采购周期与备货量，例如基于 LSTM 算法融合天气数据、客户订单波动及竞品动态，实现误差率低于 10% 的智能补货策略。AI 还能通过强化学习模型优化库存周转率，结合物联网传感器实时监控仓储环境（如温湿度对纳米金属稳定性的影响），并联动区块链技术确保库存数据可信度，例如某企业通过 AI 动态安全库存模型将缺货率从 12% 降至 5%，同时减少 30% 的冗余库存。在纳米金属企业应用层面，德方纳米引入 AI 驱动的智能制造系统，通过分析生产线实时数据预测设备故障并优化原料调拨，将库存周转率提升 25%；中铝材料院则联合华为开发“金属智眼”系统，基于视觉大模型实现金相分析自动化，结合材料数据库与工艺参数，动态调整特种纳米金属的仓储策略，使紧急补货响应时间缩短至 4 小时，并降低 18% 的冷链运输成本。

附件 2 投入改造清单及图谱

投入改造清单及图谱

1、 行业系统化场景图谱示意图

表 7-1 行业系统化场景图谱

研 发 设 计	主 场 景	<p>A1.1 数字化产品设计</p> <p>工具软件：CAD（计算机辅助设计）\PLM（产品生命周期管理）</p> <p>数据要素：产品配方数据、研发测试数据、产品性能数据、销售及售后数据</p> <p>知识模型：材料学模型、知识图谱、需求分析模型、产品设计模型、产品设计仿真模型</p> <p>人才技能：研发设计人才</p> <p>痛点问题：高精度模拟和预测技术的开发和应用仍面临挑战；虚拟试验尚且无法完全模拟所有实际情况，可能存在偏差；数据收集和分析需要高级</p>	<p>B1.1 数字化工艺设计</p> <p>工具软件：CAE（计算机辅助工程）\PLM（产品生命周期管理）</p> <p>数据要素：工艺设计数据、研发测试数据、产品性能数据、生产效率数据</p> <p>知识模型：物理和化学模型、热学模型、材料学模型、设备及产线模型、知识图谱、工艺设计仿真模型</p> <p>人才技能：研发设计人才</p> <p>痛点问题：数据收集和分析需要高级技术和专业知识，并且当前数据积累不足；工艺优化的数字化工具的精度和可靠性需要进一步提高。</p>

		技术和专业知识，并且当前数据积累不足。	
细 分 场 景	A1.2 产品数字化研发与设计	痛点问题：高精度模拟和预测技术的开发和应用仍面临挑战。	B1.2 工艺数字化设计 痛点问题：工艺优化的数字化工具的精度和可靠性需要进一步提高。
	A1.3 虚拟实验与调试	痛点问题：虚拟试验尚且无法完全模拟所有实际情况，可能存在偏差。	B1.3 可制造性设计 痛点问题：数据收集和分析需要高级技术和专业知识，并且当前数据积累不足。
	A1.4 数据驱动产品设计与优化		

		<p>痛点问题：数据收集和分析需要高级技术和专业知识，并且当前数据积累不足。</p>	
生产制造	主场景	<p>A2.1 计划调度</p> <p>工具软件：MES（制造执行系统）\APS（高级计划排产系统）\ERP（企业资源计划）</p> <p>数据要素：采购数据、物料数据、销售数据、生产计划数据</p> <p>知识模型：生产计划排产模型、资源动态配置模型、设备模型</p> <p>人才技能：生产技术人员\软件实施工程师（排产计划）</p> <p>痛点问题：生产计划仍然较为机械，无法统筹考虑订单、设备、原材料等生产要素；尚未建立自动化排产能力，普遍仍以人工排产作业为主；生产执行过程难以对人力、设备、物料等要素的相关数据、信息进</p>	<p>B2.1 生产作业</p> <p>工具软件：CAE（计算机辅助工程）\MES（制造执行系统）\APC（先进过程控制系统）\数据采集及控制类SCADA/DCS/PCS/PLC \ERP（企业资源计划）</p> <p>数据要素：工艺运行实时参数、设备运行状态参数、生产人员数据、生产环境数据、产品检测数据</p> <p>知识模型：工艺机理模型、控制预测模型、通信感知模型、设备模型、资源动态配置模型、供应链管理模型</p> <p>人才技能：生产技术人员\软件实施工程师（生产控制）</p>

	<p>行充足分析，无法对生产要素进行动态分析与配置。</p>	<p>痛点问题：针对大量实时数据的采集、存储、处理和分析面临较大困难，如数据难以实时采集、数据质量不高、数据孤岛现象严重等；现有设备的性能与精度无法支撑纳米金属工艺动态优化与先进过程控制，特别是在高精度、高稳定性的控制方面存在不足。</p>
细 分 场 景	<p>A2.2 生产计划优化 痛点问题：生产计划仍然较为机械，无法统筹考虑订单、设备、原材料等生产要素。</p>	<p>B2.2 工艺动态优化 痛点问题：现有设备的性能与精度无法支撑纳米金属工艺动态优化。</p>
	<p>A2.3 车间智能排产 痛点问题：尚未建立自动化排产能力，普遍仍以人工排产作业为主。</p>	<p>B2.3 先进过程控制 痛点问题：现有设备的性能与精度无法支撑纳米金属先进过程控制，特别是在高精度、高稳定性的控制方面存在不足。</p>
	<p>A2.4 资源动态配置 痛点问题：生产执行过程难以对人力、设备、物料等要素的</p>	<p>B2.4 智能协同作业 痛点问题：智能制造装备较少部署，难以实现智能协同作业。</p>

	<p>相关数据、信息进行充足分析，无法对生产要素进行动态分析与配置。</p>	
		<p>B2.5 网络协同制造</p> <p>痛点问题：缺少数据实时采集系统，未布局网络协同平台，难以实现基于网络的跨企业、跨地域协同制造。</p>
主 场 景	<p>C2.1 仓储物流</p> <p>工具软件：MES（制造执行系统）\WMS（仓库管理系统）\TMS（运输管理系统）</p> <p>数据要素：库存数据、仓储环境数据、物流运输数据</p> <p>知识模型：仓储管理模型、配送优化模型</p>	<p>D2.1 设备管理</p> <p>工具软件：MES（制造执行系统）\CMMS（设备维护管理系统）\EAM/AMS（资产管理系统）\数据采集及控制类SCADA/DCS/PCS/PLC</p> <p>数据要素：设备属性数据、设备运维管理数据、设备运行状态参数</p> <p>知识模型：感知模型、设备运行管理模型、故障机理模型、设备故障模型、故障预测模型、设备优化模型</p>

	<p>人才技能：生产技术人员\软件实施工程师（精益仓储、物流规划）</p> <p>痛点问题：原料、成品、废料仓储整体上信息化、自动化、智能化程度较低，信息以人工在信息系统录入为主，信息流滞后于实际物流，仓储利用率低；环境控制不精确，仓储环境可能无法精确控制温度、湿度等参数，影响产品最终质量；纳米金属材料运输过程中可能因受潮、振动等原因产生物理化学性能变化，对产品运输过程中的实时监测、精准管控提出了较高要求。</p>	<p>人才技能：生产技术人员\软件实施工程师（设备运维）</p> <p>痛点问题：设备管理在数据自动采集、数据统计分析与全设备领域业务数据覆盖方面还存在不足；设备仍采用“点检定修”为核心的传统管理模式，通过离线仪器进行数据采集，数据的准确性、时效性成为设备管理提升的制约；设备管理系统对设备故障的监测不足、设备诊断模型精度不够等导致既有设备管理系统价值难以发挥。</p>
细分场景	<p>C2.2 智能仓储</p> <p>痛点问题：原料、成品、废料仓储整体上信息化、自动化、智能化程度较低，信息以人工在信息系统录入为主，信息流</p>	<p>D2.2 在线运行监测</p> <p>痛点问题：设备仍采用“点检定修”为核心的传统管理模式，通过离线仪器进行数据采集，</p>

	<p>滞后于实际物流，仓储利用率低；环境控制不精确，仓储环境可能无法精确控制温度、湿度等参数，影响产品最终质量。</p>	<p>数据的准确性、时效性成为设备管理提升的制约。</p>
	<p>C2.3 精准配送</p> <p>痛点问题：纳米金属材料运输过程中可能因受潮、振动等原因产生物理化学性能变化，对产品运输过程中的实时监测、精准管控提出了较高要求。</p>	<p>D2.3 设备故障诊断与预测</p> <p>痛点问题：设备管理系统对设备故障的监测不足、设备诊断模型精度不够等导致既有设备管理系统价值难以发挥。</p>
		<p>D2.4 设备运行优化</p> <p>痛点问题：设备管理在数据自动采集、数据统计分析与全设备领域业务数据覆盖方面还存在不足，无法支撑设备运行优化。</p>
主 场 景	<p>E2.1 质量管控</p> <p>工具软件：MES（制造执行系统）\QMS（质量管理系统）\扫描电镜等智能检测装备</p>	<p>F2.1 安全管控</p> <p>工具软件：MES（制造执行系统）\EHS（环境、职业健康安全管理体系）\数据采集及控制类 SCADA/DCS/PCS/PLC</p>

	<p>数据要素：全流程可追溯数据（原料\生产\仓储）、产品检测数据、售后数据</p> <p>知识模型：机器视觉模型、物性与成分分析模型、知识图谱、质量机理分析模型、质量追溯模型、产品质量优化模型</p> <p>人才技能：质量专家</p> <p>痛点问题：纳米金属材料高精度、一致性的质检需求对当前质检设备、系统的精确度、稳定性提出了较高要求；在线质检设备的应用率较低，相关数据需要靠人工录入、质检设备数据导入；质量追溯过程更多根据技术人员经验判断，无法将相关数据进行关联分析，无法快速定位其主要问题点。</p>	<p>数据要素：工艺运行实时参数、设备运行状态参数、生产人员数据、生产环境数据</p> <p>知识模型：感知模型、安全风险监测分析模型、应急响应模型、危险作业机理模型、危险作业自动化模型。</p> <p>人才技能：生产技术人员\软件实施工程师（安全生产）</p> <p>痛点问题：全局监测能力不足，当前行业主要是实现了局部点位的数据采集和危险预警能力，整体上实时现场风险动态感知能力存在不足，分析以离线数据为主，主动预警防御能力相对薄弱；应急处置能力不足，多数企业数据采集能力不强，与5G、人工智能技术等结合较少，无法智能化应对对突发情况，难以快速响应并有效处理安全事故。</p>
--	---	--

细 分 场 景	<p>E2.2 智能在线检测</p> <p>痛点问题：在线质检设备的应用率较低，相关数据需要靠人工录入、质检设备数据导入。</p>	<p>F2.2 安全风险实时监测与应急处置</p> <p>痛点问题：缺少对安全风险的实时监测，应急处置能力不足，多数企业数据采集能力不强，与 5G、人工智能技术等结合较少，无法智能化应对突发情况，难以快速响应并有效处理安全事故。</p>
	<p>E2.3 质量精准追溯</p> <p>痛点问题：质量追溯过程更多根据技术人员经验判断，无法将相关数据进行关联分析，无法快速定位其主要问题点。</p>	<p>F2.3 危险作业自动化</p> <p>痛点问题：智能装备部署较少，缺乏 AI、5G 等技术的应用，尚未实现危险作业的自动化。</p>
	<p>E2.4 产品质量优化</p> <p>痛点问题：质量数据积累不足，并且未布局相关分析软件，无法支撑产品质量优化。</p>	
主 场 景	<p>G2.1 能源管理</p> <p>工具软件：MES（制造执行系统）\EMS（能源管理系统）</p>	<p>H2.1 环保管控</p> <p>工具软件：MES（制造执行系统）\BI（商业智能软件）\碳资</p>

	<p>数据要素：生产能耗数据</p> <p>知识模型：能耗监测管理模型、能耗优化模型</p> <p>人才技能：能源管理专家</p> <p>痛点问题：统计核算不够精细，能源消耗数据尚未精确到各个系统环节；能源利用效率低，部分企业存在能源利用浪费的现象，如设备能效低、能源管理不善等；能源管理系统不完善，部分企业在能源管理方面缺乏信息化手段，难以实现能源使用的实时监控和优化管理。</p>	<p>产管理平台\废弃物料管理平台</p> <p>数据要素：污染排放数据、碳排放数据</p> <p>知识模型：污染排放监测管理模型、污染排放优化模型、碳排放监测管理模型、碳排放优化模型</p> <p>人才技能：环保管控专家</p> <p>痛点问题：各类环保设备与系统相对独立，缺乏一体化的环保管控系统，难以实现各类环保检测指数的全局统一管理；缺少对环保相关参数的实时数据如废气、废液、固废等进行及时监测，并且缺少即时应对能力，即使出现环境报警，无有效的手段进行及时分析与处理。</p>
	<p>G2.2 能耗数据监测</p>	<p>H2.2 污染监测与管控</p>

	细 分 场 景	<p>痛点问题：关键环节尚未加装传感器、仪表，无法实时监测能耗数据。</p>	<p>痛点问题：缺少对环保相关参数的实时数据如废气、废液、固废等进行及时监测，并且缺少即时应对能力，即使出现环境报警，无有效的手段进行及时分析与处理。</p>
		<p>G2.3 能效平衡与优化</p> <p>痛点问题：能源管理系统不完善，部分企业在能源管理方面缺乏信息化手段，难以实现能源使用的实时监控和优化管理。</p>	<p>H2.3 碳资产与废弃物管理</p> <p>痛点问题：各类环保设备与系统相对独立，缺乏一体化的环保管控系统，难以实现各类环保检测指数的全局统一管理，缺乏碳相关指数的计算分析能力</p>
供 应 链 管 理	主 场 景	<p>A3.1 供应链计划</p> <p>工具软件：ERP（企业资源计划）\WMS（仓库管理系统）\SCM（供应链管理）\CRM（客户关系管理系统）</p> <p>数据要素：采购数据、供应商数据、库存数据、物流运输数</p>	<p>B3.1 供应链采购与交付</p> <p>工具软件：ERP（企业资源计划）\WMS（仓库管理系统）\SCM（供应链管理）\CRM（客户关系管理系统）\TMS（运输管理系统）</p> <p>数据要素：供应商数据、采购数据、物流运输数据</p>

	<p>据、生产计划数据、销售数据、客户管理数据</p> <p>知识模型：需求预测模型、生产计划排产模型、供应链管理模型</p> <p>人才技能：供应链管理专家、数据分析专家</p> <p>痛点问题：信息化与智能化水平的不均衡，不同系统、不同企业的信息化基础设施和技术应用能力差异显著，导致供应链上下游的信息协同面临挑战；数据共享难度大，企业间出于数据安全的考虑，往往不愿意共享关键信息；另外，市场需求预测的不准确性也是一大难题，缺乏可准确预测市场环境及消费者行为的分析模型，影响采购、生产和配送计划的制定和执行。</p>	<p>知识模型：采购动态优化模型、物流配送优化模型</p> <p>人才技能：供应链管理专家</p> <p>痛点问题：缺乏先进的供应链管理系统，企业难以实时掌握采购订单的状态和进度，导致供应商交付率下降；同时，物流环节的信息不对称，运输过程中的信息更新不及时，使得企业无法准确了解货物的位置和状态，而配送路径和装载能力的优化不足也影响了物流效率和成本。</p>
	A3.2 供应链计划协同优化	B3.2 供应链采购动态优化

	<p>痛点问题：企业内部各系统的数据尚未打通，不同系统、的信息化基础设施和技术应用能力差异显著，同时缺乏相关数据分析能力，难以支撑供应链计划协同编制。</p>	<p>痛点问题：缺乏先进的供应链管理系统，企业难以实时掌握采购订单的状态和进度，导致供应商交付率下降。</p>
<p>细分场景</p>	<p>A3.3 产供销一体化</p> <p>痛点问题：信息化与智能化水平的不均衡，不同企业的信息化基础设施和技术应用能力差异显著，导致供应链上下游的信息协同面临挑战；数据共享难度大，企业间出于数据安全的考虑，往往不愿意共享关键信息；另外，市场需求预测的不准确性也是一大难题，缺乏可准确预测市场环境 with 消费者行为的分析模型，影响采购、生产和配送计划的制定和执行。</p>	<p>B3.3 供应链智能配送与动态优化</p> <p>痛点问题：物流环节的信息不对称，运输过程中的信息更新不及时，使得企业无法准确了解货物的位置和状态，而配送路径和装载能力的优化不足也影响了物流效率和成本。</p>

	<p>C3.1 供应链服务</p> <p>工具软件：ERP（企业资源计划）\SCM(供应链管理)\BI(商业智能软件)</p> <p>数据要素：供应商数据、风险管理数据、市场预测数据</p> <p>知识模型：</p> <p>人才技能：供应链管理专家</p> <p>痛点问题：供应商管理的数字化程度低，许多企业仍然依赖传统的手工管理方式，难以实现对供应商的全面、精细化管理；同时，由于缺乏先进的风险预警系统和数据分析能力，企业难以及时发现和应对潜在的供应链风险；而标准化与协同难度大也限制了供应链上下游之间的协同发展和创新。</p>	
<p>主 场 景</p>	<p>C3.2 供应商数字化管理</p> <p>痛点问题：供应商管理的数字化程度低，许多企业仍然依赖</p>	

	场景	传统的手工管理方式，难以实现对供应商的全面、精细化管理。	
		<p>C3.3 供应链风险预警与弹性管控</p> <p>痛点问题：缺乏先进的风险预警系统和数据分析能力，企业难以及时发现和应对潜在的供应链风险；而标准化与协同难度大也限制了供应链上下游之间的协同发展和创新。</p>	

2、行业智能化改造装备清单

表 7-2 行业智能化改造装备清单

适用场景	装备名称	主要功能	投入区间	国产/进口
通用 (生产)场景	DCS+科远智慧 NT6000	NT6000 分散控制系统性能卓越，以安全、可靠、先进、易用性备受市场青睐，能够迅速响应各种控制需求，在纳米金属生产中可实现对生产设备的	80-100 万元/年	国产-江苏南京

		快速准确控制，确保生产过程的稳定性和产品质量的一致性。同时具备良好的兼容性和扩展性，可根据企业的发展和生产工艺的变化进行灵活升级和扩展。		
	DCS+中 控技术 ECS-700	ECS-700 控制系统具有高可靠性、高安全性和强大的功能扩展性，可实现对纳米金属生产过程的全方位监控和精确控制，能与多种智能设备和系统进行无缝对接，实现生产过程的自动化和信息化集成。提供丰富的控制算法和策略，可根据不同的生产工艺和需求进行灵活组态和调整，同时具备完善的故障诊断和报	100-150 万 元/年	国产-浙 江杭州

		警功能，确保生产的安全稳定运行。		
	DCS+和 利时 Hollias MACS	Hollias MACS 系列控制系统具备先进的控制算法和丰富的行业解决方案，可实现对纳米金属生产过程的高效控制和管理。具有开放化、信息化、智能化、小型化和高可靠等特点，支持多种现场总线和通信协议，能方便地与第三方设备和系统进行集成，实现生产过程的全面监控和优化。	80-120 万 元/年	国产-北 京
	DCS+霍 尼韦尔 Experion PKS 系 统	Experion PKS 系统能够实现工业生产过程的全面监控和控制，并且具备先进的数据分析和优化功能，可帮助企业提高生产效率和质量。在纳米金属行业中，可对生产过	150-250 万 元/年	进口-美 国

		<p>程中的各种复杂工艺进行精确控制，如对纳米金属粉末的制备过程中的气流、温度、湿度等参数进行精准调节，同时通过数据分析优化生产流程，降低生产成本。</p>		
	<p>PCS+北京华卓精科科技股份有限公司 PCS</p>	<p>该 PCS 专注于高精度运动控制及超精密制造技术的研发，在纳米金属生产中，可实现对生产设备的高精度定位与运动控制，确保纳米金属材料的制备过程精准无误，如在纳米金属薄膜沉积、纳米线生长等工艺中，精确控制沉积速率、生长方向等参数，提高产品的一致性和质量稳定性。</p>	<p>80 万-150 万元/年</p>	<p>国产-北京</p>

<p>PCS+中微公司 (AMEC) PCS</p>	<p>在纳米金属生产过程中，其 PCS 系统能精确控制刻蚀工艺的参数，如刻蚀速率、刻蚀深度、选择性等，以及 MOCVD 过程中的温度、压力、气体流量等，实现对纳米金属结构和性能的精准调控，提高生产效率和产品良率。</p>	<p>50 万-100 万元/年</p>	<p>国产-上海</p>
<p>PCS+科磊 (KLA Corporation) PCS</p>	<p>科磊 PCS 是半导体和相关纳米电子行业过程控制和产量管理解决方案的领先供应商，可提供晶圆和集成电路缺陷的在线监测、审查和分类；能进行标线缺陷检验和计量、薄膜厚度测量等；还提供室内工艺条件的测量以及整体产量和晶圆厂的数据管理和分析系统，可帮助纳米金属企业</p>	<p>小型企业 100 -200 万/年；大型企业 300-500 万 /年</p>	<p>进口-美国加利福尼亚</p>

		实时监控生产过程中的各项参数和产品质量，及时发现并解决问题，提高生产效率和良率。		
	PCS+西 门子	提供全面的工业自动化解决方案，在纳米金属生产中，可实现对温度、压力、流量、物料输送等环节的精确控制和实时监控，具备先进的过程优化算法，可根据生产数据自动调整生产参数，提高生产效率和产品质量，同时提供强大的故障诊断和预警功能，确保生产的连续性和安全性。	小型企业 50-150 万/ 年；大型 企业 200- 500 万/年	进口-德 国柏林
	PLC+矩 形科技 PLC	矩形科技 PLC 具备灵活的编程能力，支持多种编程语言，如梯形图、指令表等，方便工程师进行编程和调试。可提供定制化	小型企 业：20 - 30 万/年； 中型企业 年投入在	国产-广 东深圳

		<p>的解决方案，根据纳米金属企业的具体生产工艺和设备要求，量身定制控制方案，实现对生产过程的精准控制。同时，具有良好的性价比和本地化的技术支持与售后服务，能及时响应客户需求并解决问题。</p>	<p>50- 80 万/年</p>	
	<p>PLC+汇川技术</p>	<p>其 PLC 产品具有高速的运算处理能力和精准的控制性能，可实现对纳米金属生产过程中的高速设备和高精度工艺的精确控制，如纳米金属粉末的制备过程中的高速搅拌、精确计量等环节。支持多种通信协议和工业以太网接口，能够方便地与其他自动化设备进行组网和通信，实现整个生</p>	<p>小型企业：30-50 万/年； 中型企业年投入在 80- 120 万/年</p>	<p>国产-广东深圳</p>

		产系统的互联互通。提供丰富的功能模块和扩展接口，可根据用户需求灵活扩展系统功能，如增加模拟量输入输出模块、温度控制模块等。		
	PLC+三菱电机	Q 系列 PLC 支持大规模的 I/O 点数和高速处理，适用于复杂的控制系统，可实现对纳米金属生产线上众多设备的集中控制和协调运行。FX 系列则以其紧凑的设计和易用性受到中小企业的欢迎，可灵活应用于小型纳米金属生产设备的控制。具有丰富的指令集和多种通信接口，能满足不同的控制需求，并可与其他三菱自动化产品无缝	FX 系列 PLC: 30-50 万/年; Q 系列 PLC: 80-150 万/年	进口-日本东京

		集成，实现更全面的自动化解决方案。		
	PLC+西 门子 S7 系列 PLC	S7 系列 PLC 支持多种编程语言和通信协议，可方便地与其他设备进行连接和通信。内置诊断功能和预测性维护功能，能实时监测系统运行状态，提前发现潜在故障并进行预警，减少停机时间。在纳米金属生产中，可精确控制生产设备的温度、压力、流量等参数，确保生产过程的稳定性和产品质量的一致性。	100-200 万 /年	进口- 德国柏林
	数采机	实时采集纳米金属生产线上各类设备的运行参数及环境数据，将其转化为数字信号后，通过有线或无线方式快速传输至中控系统，为生产过程的	0.8-3 万/台	广州博控 自动化技 术有限公 司 国产-广 东广州；

		监控、分析与优化提供数据基础，保障生产的稳定与高效。		美国国家 仪器 进口
	温度传感器	精准感知纳米金属生产各环节的温度状况，包括高温熔炼、温控反应等过程，实时监测温度变化并与设定范围对比，超限时及时报警，还能配合温控系统自动调节，确保生产在适宜温度下进行，提升产品质量与生产效率。	NTC/PTC : 0.005- 0.03 万元/ 个 热电偶 /RTD: 0.05-0.3 元 /个	苏州纳芯 微电子股 份有限公 司 国产-江 苏苏州; 德国贺利 氏 进口-德 国哈瑙市
	位置传感器	精确测定纳米金属生产设备关键部件的位置与位移，如机械臂、模具等的位置，保障设备动作精准，避免碰撞与故障，同时为自动化生产流程提供精准定位信息，确保生产工序的准确执行。	光学/磁 性: 0.05- 0.2 万元/ 个; 激光/超声 波: 0.2- 0.5 万元/ 个	北京特倍 福电子技 术有限公 司 国产-北 京; 日本基恩 士

				进口-日本大阪
气体浓度传感器	持续监测纳米金属生产环境及特定工艺环节中的气体浓度，如反应气体、有害气体等，一旦浓度异常立即反馈，保障生产安全，同时为工艺优化提供气体环境数据支持，确保生产过程的稳定性与合规性。	单一气体检测： 0.08-0.3 万元/个； 多气体检测：0.3-0.8 万元/个	深圳市富安达智能科技有限公司 国产-广东深圳； 美国霍尼韦尔 进口-美国北卡罗来纳州	
压力传感器	实时检测纳米金属加工过程中的压力变化，像压力铸造、气体压缩等环节，精准测量并将数据传输给控制系统，以便对压力进行精准调控，保证产品成型质量，预防因压力异常引发的生产事故。	低压/常规用途： 0.03-0.15 万元/个； 高精度或高压用途：0.15-	北京昆仑海岸传感技术有限公司 国产-北京； 德国博世 进口-德	

			0.5 万元/ 个	国斯图加 特市
	光电传感器	利用光信号的变化检测 纳米金属产品或部件的 有无、位置、表面状态等 信息，在自动化生产线上 实现快速精准的物体识 别与定位，有效提升生产 流程的自动化程度和分 拣、检测的准确性。	0.01-0.05 万元/个	深圳市欧 光电子有 限公司 国产-广 东深圳； 日本欧姆 龙 进口-日 本京都
	薄厚监测 传感器	针对纳米金属板材、薄膜 等产品，通过特定技术精 确测量其厚度，实时反馈 数据，确保产品厚度符合 标准要求，保障产品质量 的一致性，为后续加工与 应用提供可靠的质量基 础。	激光厚度 传感器： 0.5-2 万元/ 套	深圳市中 图仪器股 份有限公 司 国产-广 东深圳； 德国米铍 进口-德 国奥尔登 堡

摄像头	<p>对纳米金属生产现场进行可视化监控，记录生产过程中的设备运行状态、产品外观质量、人员操作情况等画面，为远程监控、质量追溯、故障排查提供直观的图像资料，助力生产管理与优化决策。</p>	<p>工业级： 0.8 万元/ 台</p>	<p>杭州海康威视数字技术股份有限公司 国产-浙江杭州； 美国康耐视 进口-美国马萨诸塞州纳提克</p>
振动传感器	<p>安装在纳米金属生产设备上，实时监测设备的振动情况，通过分析振动频率、幅度等参数，提前发现设备的潜在故障隐患，如不平衡、松动等问题，以便及时安排维护保养，降低设备突发故障的概率，保障生产的连续性。</p>	<p>0.05-0.3 万元/个</p>	<p>江苏联能电子技术有限公司 国产-江苏扬州； 丹麦 B&K 进口-丹麦灵比</p>

<p>流量传感器</p>	<p>精确测量纳米金属生产过程中液体或气体介质的流量，如冷却液、反应气体等的流量，将数据传输给控制系统，实现流量的精准控制，保证生产工艺的稳定性和产品质量的可靠性，同时优化资源利用效率。</p>	<p>普通的热导式流量开关价格在 0.1-0.32 万元</p>	<p>江苏靶式流量计制造有限公司 国产-江苏淮安； 德国 E+H 进口-德国毛尔堡</p>
<p>红外热成像摄像头</p>	<p>对纳米金属生产设备及工艺过程进行热成像监测，以非接触方式快速获取设备表面温度分布情况，直观呈现设备的热状态，帮助检测热点、热泄漏等异常情况，为设备维护、能源管理和工艺改进提供热学数据依据。</p>	<p>基础型（低分辨率）：0.5-2 万元/台； 工业级（高分辨率）：2-8 万元/台</p>	<p>武汉高德红外股份有限公司 国产-湖北武汉； 美国 FLIR 进口-美国俄勒冈州威尔逊维尔</p>

<p>气体流量控制执行器</p>	<p>根据控制系统的指令，精确调节纳米金属生产中各类气体的流量大小，确保气体参与的化学反应、气氛保护等工艺过程稳定进行，保证产品质量，同时优化气体资源的使用效率，降低生产成本。</p>	<p>单通道控制：0.3-0.8 万元/套； 多通道：0.8-3 万元/套</p>	<p>重庆川仪自动化股份有限公司 国产-重庆； 美国费希尔 进口-美国爱荷华州马歇尔敦</p>
<p>温度控制执行器</p>	<p>接收温度传感器的反馈信号，通过调节加热或冷却设备的功率、阀门开度等方式，对纳米金属生产环境或物料温度进行精准控制，维持生产所需的恒温条件，保障产品性能和生产过程的稳定性。</p>	<p>简单型：0.5-1.5 万元/套； 精密型：1.5-3 万元/套</p>	<p>无锡工装自控工程有限公司 国产-江苏无锡； 日本 SMC 进口-日本东京</p>

<p>压力控制 执行器</p>	<p>依据压力传感器的数据，自动调整压力源或调节装置，对纳米金属生产过程中的压力进行精确控制，如在压铸、高压反应等环节，确保压力符合工艺要求，提高产品的成型质量和一致性。</p>	<p>常规用途：0.3-1 万元/套</p>	<p>上海自动化仪表有限公司 国产-上海； 德国力士乐 进口-德国汉诺威</p>
<p>气体分布 与混合执行器</p>	<p>在纳米金属的气相反应、气氛保护等工艺中，将不同气体按设定比例均匀混合，并精准分布到反应区域，保证气体环境的一致性和稳定性，促进化学反应的均匀进行，提升产品质量和生产效率。</p>	<p>小型：1-3 万元/套； 大型： 30000- 80000 元/ 套</p>	<p>江苏瑞达环保科技有限公司 国产-江苏南通； 美国派克汉尼汾 进口-美国俄亥俄州克利夫兰</p>

	样品台与 基材移动 执行器	在纳米金属的检测、加工等环节，精确控制样品台与基材的移动位置、速度和方向，实现自动化的样品定位、加工路径规划，提高操作的精准度和效率，为科研实验和生产加工提供有力支持。	标准型： 0.5-2 万	深圳大族 激光科技 产业集团 股份有限 公司 国产-广 东深圳； 德国西门 子 进口-德 国柏林
仓 储 物流	AGV 或 搬运机器 人	在生产车间自动搬运原材料、半成品和成品，实现物料的高效流转，优化物流路线，减少人工搬运的劳动强度和出错概率，提高生产自动化水平和车间整体运营效率。	3-5 万元	昆山市佰 奥智能装 备股份有 限公司 国产-江 苏苏州； 日本发那 科

				进口-日本山梨县忍野村
自动包装、码垛设备	按照预设程序对纳米金属产品进行自动包装，确保包装的密封性、完整性和美观性，然后将包装好的产品整齐码垛，便于存储和运输，提高包装环节的效率 and 标准化程度，降低人力成本。	小型自动包装机 3-5 万元；小型码垛机 10-15 万元	济南兰剑智能科技股份有限公司 国产-山东济南； 德国克朗斯 进口-德国新特劳普林	
智能货架	用于存储纳米金属原材料、半成品和成品，通过自动识别、定位和库存管理系统，实时记录货物的	2-8 万元/套	江苏六维物流设备实业有限公司	

		出入库信息、存储位置和数量，实现库存的精准管理，提高仓库空间利用率和货物查找效率。		国产-江苏南京； 日本大福进口-日本大阪
	条形码扫描器	在纳米金属产品的生产、仓储和物流环节，快速读取产品或物料包装上的条形码信息，实现产品信息的自动采集、追溯和管理，提高信息录入与核对的准确性和速度，保障生产流程的顺畅性。	常规型： 0.05-0.3 万元/个 工业型： 0.3-1 万元/个	深圳市民德电子科技股份有限公司 国产-广东深圳； 美国斑马技术 进口-美国伊利诺伊州弗农希尔斯
	RFID 读写器	利用无线射频技术对纳米金属产品或物料上的 RFID 标签进行数据读取和写入，实现远距离、非	基础型： 1000-5000 元/个	深圳市远望谷信息技术股份有限公司

		接触式的信息交互，可用于生产过程监控、库存管理、物流追踪等多个环节，提高生产管理的智能化水平和数据准确性。		国产-广东深圳； 美国艾利丹尼森进口-美国加利福尼亚州格伦代尔
设备管理	智能巡检仪	配备多种传感器，在纳米金属生产区域自动进行设备运行状态、环境参数等方面的巡检，采集数据并与预设标准对比，及时发现异常情况，生成巡检报告，为设备维护、安全管理和生产优化提供依据。	便捷型： 20-50 万/ 台	北京和利时智能技术有限公司 国产-北京； 德国西门子进口-德国柏林
安全管控	防爆机器人	在具有易燃易爆风险的纳米金属生产环境中，如涉及粉尘、易燃气体的工	小型：30-50 万；大	中信重工 开诚智能

		艺环节，代替人工进行设备巡检、物料搬运、简单操作等任务，降低人员安全风险，保障生产活动的安全、稳定进行。	型 50-200 万	装备有限公司 国产-河北唐山； 美国 iRobot 进口-美国马萨诸塞州
质量 管控、 环保 管控	在线光谱 分析仪 +T450 系 列膜厚仪 金属多元 素无损检 测 EDXRF 光谱分析 仪	采用微聚焦增强型射线管和数字多道脉冲信号处理技术，搭载增强 FP 算法软件与变焦装置，可对各种大小平面、异形件、多层合金及电镀液进行精准、稳定、高效的检测。具有微米级移动精度，能实现高精密移动平台对多点检测时的快速精准定位；微聚焦高集成垂直光路交换装置，可对	8500 元/台	国产-江苏苏州

		极小测量点进行高效、精准、稳定检测；变焦对焦一体技术，能对各种异形凹槽件进行无损检测，凹槽深度范围可达 35mm；大面积 Si-pin 半导体探测器，可大大提升测量精度与稳定性。		
	在线质谱仪+湖南格致分析仪器有限公司 GZMS6000 工业在线质谱仪	该质谱仪各项技术参数均达到世界先进水平，整机实现了国产化。可在工业生产过程中对金属等原料进行实时检测，能快速准确地分析出纳米金属生产过程中的成分变化，及时反馈生产工艺中的问题，保障产品质量和生产安全，为生产工艺的调整提供依据。	1000 元/台	国产-湖南长沙
	在线气体分析仪+	采用可调谐半导体激光吸收光谱技术(TDLAS)，	设备采购：10-12	国产-湖北武汉

	<p>武汉晟诺 仪器科技 有限公司 eLAS- 300S 激 光氟化氢 在线系统 气体检测 仪</p>	<p>具有更高灵敏度，分辨率 可达 0.01ppm，能精准测 量多种气体，如 NH₃、 HCL、HF、H₂S、CH₄、 CO、CO₂、O₂ 等，可满 足纳米金属生产过程中 对环境气体及反应气体 的高精度检测需求；采用 一体式原位抽取测量的 方法，将高温取样探头和 高温检测池集成一体，解 决了取样损失问题，稳定 的高温检测光池结构，实 现了高精度的气体检测。</p>	<p>万；年投 入：3-5 万 元/年</p>	
--	--	--	---------------------------------	--

所有场景	高性能服务器硬件+中科曙光 Xmachine s 系列服务器	搭载海光处理器等高性能芯片，具备出色计算性能与并行处理能力，可满足纳米金属行业量子力学计算、分子动力学模拟、有限元分析等高要求应用，助力研究和优化生产工艺；拥有先进智能散热系统，能依负载和温度自动调风扇转速，保障高负载下散热良好，延长硬件寿命并降能耗与噪音；提供多种配置方案，用户可按需选择处理器、内存、存储等，适配行业不同企业与场景；在硬件和软件方面设有多重安全措施，如加密存储、身份认证和访问控制等，有效防止数据泄露与非法访	3000-35000 元/台；年投入：8-15 万元/年	国产-北京
------	--------------------------------	--	------------------------------	-------

		问，确保核心技术和敏感数据安全。		
--	--	------------------	--	--

3、数字化转型数据要素清单

表 7-3 数字化转型数据要素清单

序号	场景	数据要素类型	描述
1	数字化产品设计	产品配方数据	制造纳米金属材料所需原料、辅料和添加剂的属性、加入量及比例
		研发测试数据	产品性能、安全测试及结果，包括产品仿真模型、试验等数据
		产品性能数据	纳米金属材料的表面、尺寸、光学、电学、热学、量子等性能；历史数据作为输入及对比数据，新数据作为评判数据
		销售及售后数据	报价、订单、退换货等销售数据以及客户满意度、产品使用反馈等数据；表征产品研发设计是否成功
2	数字化工艺设计	工艺设计数据	涵盖产品制备的工艺流程、仪器、设备以及反应中的真

			空度、流量、温度、压力等相关参数和设备的操作参数等
		研发测试数据	产品性能、安全测试及结果,包括产品仿真模型、虚拟试验等数据
		产品性能数据	纳米金属材料的表面、尺寸、光学、电学、热学、量子等性能;使用新工艺后得到的数据可作为评判标准
		生产效率数据	生产时间减少、生产成本下降等生产效率提升情况以及生产资源减少、生产排放减少等资源利用率提升情况
3	计划调度	采购数据	采购计划、订单等;资源条件
		物料数据	物料种类、库存、消耗情况;资源条件
		销售数据	销售计划、订单等;计划目标
		生产计划数据	包括已制定的计划及完成情况,以及总体产能情况等
4	生产作业	工艺运行实时参数	制备反应中实时的真空度、流量、温度、压力等相关参数

		设备运行状态参数	制备过程中相关设备实时的电流、电压、温度、功率等状态及操作参数
		生产人员数据	操作人员及其作业数据，包括所在工序、工位、操作时间、操作数据等
		生产环境数据	车间生产中的地点、时间、光线、温度、湿度等环境数据
		产品检测数据	产品生产制备过程中检测相关的对象、方法、时间、标准、结果等数据
5	仓储物流	库存数据	原料、辅料、产品的属性与数量
		仓储环境数据	仓储地点、时间、光线、温度、湿度等
		物流运输数据	物流运输中的位置、时间、光线、温度、湿度以及震动等
6	设备管理	设备属性数据	设备的类型、编号、尺寸、使用环节及安装地点等
		设备运维管理数据	设备的故障、检测、维修以及相应的日志数据等

		设备运行状态 参数	制备过程中相关设备实时的 电流、电压、温度、功率等状 态及操作参数
7	质量管控	全流程可追溯 数据	涵盖从产品配方、原料性能、 生产工艺、设备状态、生产人 员\环境乃至仓储物流等所有 环节的数据，核心是有一个 可追溯的数据系统
		产品检测数据	产品生产制备过程中检测相 关的对象、方法、时间、标准、 结果等数据
		售后数据	包括客户满意度及产品使用 反馈等，尤其是客户在使用 中出现的问题反馈
8	安全管控	工艺运行实时 参数	制备反应中实时的真空度、 流量、温度、压力等相关参数
		设备运行状态 参数	制备过程中相关设备实时的 电流、电压、温度、功率等状 态及操作参数

		生产人员数据	操作人员及其作业数据，包括所在工序、工位、操作时间、操作数据等
		生产环境数据	车间生产中的地点、时间、光线、温度、湿度等环境数据
9	能源管理	生产能耗数据	涵盖水、电、气及其他燃料的用料数据
10	环保管控	污染排放数据	生产过程中废气、废水、固废等排放数据
		碳排放数据	生产过程中二氧化碳、甲烷、氧化亚氮等温室气体排放数据
11	供应链计划	采购数据	采购计划、订单、退\换货等数据
		供应商数据	供应商的商誉、库存、质量、价格等数据
		库存数据	原料、辅料、产品的属性与数量
		物流运输数据	物流运输中的位置、时间、光线、温度、湿度以及震动等

		生产计划数据	包括已制定的计划及完成情况，以及总体产能情况等
		销售数据	销售计划、订单、退\换货等数据
		客户管理数据	客户基本信息、历史订单、近期重大事件以及需求预测等数据
12	供应链采购与交付	供应商数据	供应商的商誉、库存、质量、价格等数据
		采购数据	采购计划、订单、退\换货等数据
		物流运输数据	物流运输中的位置、时间等数据，尤其是供应商发货、运输状态等实时数据
13	供应链服务	供应商数据	供应商的商誉、库存、质量、价格等数据
		风险管理数据	供应链与产品市场两个行业的相关数据，包括行业的供求、价格以及国际\国内政策、环境等

		市场预测数据	针对市场需求、同业产能的 预测数据
--	--	--------	----------------------

4、知识模型资源清单

表 7-4 知识模型资源清单

序号	场景	知识模型	描述
1	数字化产品设计	材料学模型	模拟和描述纳米金属材料在制备过程中的性能、行为和特性，支撑材料设计、特性预测和强度分析
		知识图谱	建模和链接纳米金属材料领域的专业知识、工艺流程、设备状态等，实现工业知识沉淀复用、集成共享，为数字化产品设计提供知识、数据基础
		需求分析模型	通过收集和整合客户需求、市场调研结果，将需求转化为具体的设计参数，并可辅助确定需求优先级，确保设计满足最关键的市场和客户要求
		产品设计模型	利用复杂建模技术对纳米金属材料的产品和配方进

			行设计，拆解设计需求并系统设计产品结构、功能、性能、外观等方面，支撑实现产品从概念设计到详细设计、原型验证、迭代优化等全流程的数字化、智能化设计
		产品设计仿真模型	支撑开展产品的虚拟设计、数字化验证和智能优化，综合仿真和评估产品的功能、结构等方面，如可用于模拟沉积过程、薄膜生长动力学等，从而预测和优化纳米金属薄膜的性能和结构
2	数字化工艺设计	材料学模型	模拟和描述纳米金属材料在制备过程中的性能、行为和特性，支撑材料设计、特性预测和强度分析
		物理和化学模型	通过模拟、预测物理过程中的蒸发、溅射及沉积成

			膜，或者化学反应中的气体分解、反应和薄膜生长，为工艺设计提供精准指导，优化工艺参数，提升纳米金属材料的质量和生产效率
		热学模型	纳米金属材料的制备需要考虑温度对工艺的影响，热学模型可用于模拟和描述工艺过程中的热量传递、热力学性质和热工过程，支持对加热系统、冷却系统的设计和优化
		设备及产线模型	模拟和优化生产设备的性能及生产线的流程，指导工艺参数调整，提高设备的效率和产出质量；同时，产线模型有助于实现生产流程的优化，减少瓶颈，提升整体制备效率

		知识图谱	建模和链接纳米金属材料领域的专业知识、工艺流程、设备状态等，实现工业知识沉淀复用、集成共享，支持智能决策、工艺优化
		工艺设计仿真模型	建立和模拟纳米金属制备中的工艺流程、设备状态等关键过程及参数，在虚拟环境中测试和调整工艺参数，预测潜在制备问题，并实现工艺的持续改进，有助于缩短产品从设计到市场的时间，同时降低生产成本和提高产品质量
3	计划调度	生产计划排产模型	通过对纳米金属原材料及产品市场的需求和产能分析，合理制定原材料采购计划，支撑开展生产计划管理作业排产、计划反

			馈、进度监控及计划优化的一系列模型
		资源动态配置模型	根据生产计划和设备状态，动态调整人力、设备、物料以及能源等制造资源的配置，确保生产的高效进行
		设备模型	通过实时监测设备状态来预测维护需求，减少意外停机，确保生产连续性，提供产能分析，帮助优化生产计划和提高效率，分析设备利用率，识别瓶颈，优化资源分配，降低浪费
4	生产作业	工艺机理模型	建立纳米金属制备中的工艺流程、设备状态等关键过程及参数的数字化体系，支持工艺机理分析和流程建模，支持工艺参数的动态调整和优化

		通信感知模型	<p>通过解析多种工业通信协议，建立与各类仪器、仪表、传感器的通信连接，全面采集被感知对象的状态数据，为状态分析、行为预测优化、控制策略生成及可视化展示提供数据支撑</p>
		控制预测模型	<p>集成工艺机理分析和实时优化技术，实时监测和预测生产过程中的变化，及时调整控制策略以优化生产效率</p>
		设备模型	<p>通过对生产设备进行精准建模和描述，实现设备的实时监控与故障诊断机制，即时反映设备运行状态、发现潜在故障并进行预警，支持生产过程的连续性和稳定性，为设备间优化协作奠定基础</p>

		<p>资源动态配置模型</p>	<p>根据生产计划和设备状态，动态调整人力、设备、物料以及能源等制造资源的配置，确保生产的高效进行</p>
		<p>供应链管理模型</p>	<p>整合供应商、客户和物流信息，实现供应链各环节的深度整合和智能化管理，通过优化资源配置和响应速度，降低运营成本，提高市场竞争力，并支持及时响应市场需求变化，确保生产作业与供应链的同步和协调</p>
<p>5</p>	<p>仓储物流</p>	<p>物流仓储管理模型</p>	<p>包括入库管理、出库管理、库存管理、运输管理等一系列管理模型，提高仓储效率、库存管理及配送管理水平，实现智能仓储和精准配送</p>

		配送优化模型	在配送计划和调度优化中发挥关键作用，通过数学方程或仿真模型求解最佳配送路径和调度方案，提高库存周转率，减少物流时间，降低配送成本
6	设备管理	感知模型	对 OPC UA、NC-LINK 等工业通信协议进行解析，建立与控制系统、传感器等仪器仪表的通信连接，实现对工艺设备运行状态数据的全面采集获取，为后续状态分析、行为预测优化、控制策略生成、可视化展示等提供全方位数据支撑
		设备运行管理模型	监测生产设备运行状态历史数据和实时数据，建立设备性能评估指标体系，如效率、能耗、稳定性等，提供设备运行状态监

			测、设备故障诊断、设备预测性维护、设备自适应控制等功能
		故障机理模型	依据纳米金属制备过程中的物理过程、化学反应及设备的工作原理，搭建故障机理模型，分析故障产生的原因，确定（濒临）故障的参数表现或异常表象
		设备故障模型	实时监控设备的运行状态数据，通过建立数学模型，结合历史数据和实时数据进行分析，实现设备状态的数字化检测，进行设备故障预警及故障推送，并开展预测维护、自动修复等
		故障预测模型	对设备生产、运营等方面的历史数据中的模式和规律进行学习，并开展未来

			发展趋势（如故障发生概率、时间等）的预测，更加注重长期的故障预防，支撑实现设备剩余寿命预测等功能，提高设备综合利用率
		设备优化模型	给定生产设备数量、人员能力、设备功能、完工时间等约束条件，寻找最优或近似最优的设备运行参数配置，基于模型对设备运行状态、工作环境等进行综合分析，调整优化设备运行参数，提高运行效率，延长设备使用寿命
7	质量管控	机器视觉模型	利用深度学习等技术训练机器视觉模型，实现对纳米金属材料表面缺陷、尺寸等参数的在线检测
		物性与成分分析模型	基于光谱分析、质谱分析等技术，建立物性和成分

			分析模型，实时监测材料的成分和物理性能
		知识图谱	建模和链接纳米金属材料领域的专业知识、工艺流程、设备状态等，实现工业知识沉淀复用、集成共享，支持智能决策、工艺优化
		质量机理分析模型	依托全流程质量数据和质量知识库，集成质量机理分析、质量数据分析等技术，进行产品质量影响因素识别、缺陷分析预测和质量优化决策
		质量追溯模型	通过成品质量预警、数字化提示预警信息，结合区块链、标识解析等技术，达成质量反追溯流程控制，完善制程过程中产品质量的提升

		产品质量优化模型	结合质量机理分析模型，基于影响产品质量的关键因素，运用统计学、数据挖掘等技术，对质量数据进行深入分析，发现潜在的质量问题和改进方向
8	安全管控	感知模型	对 OPC UA、NC-LINK、Profinet、Modbus、EtherCAT 等工业通信协议进行解析，与现场的智能传感装置、PLC 等建立通信连接，实时采集纳米金属材料制备过程中的温度、压力、气体浓度等参数
		安全风险分析模型	对感知模型采集到的历史数据和实时数据进行挖掘、分析，识别纳米金属材料制备过程中的安全风险，实现安全隐患预警，并制定应急处置方案

		<p>应急响应模型</p>	<p>基于安全风险分析与预测，集成应急响应流程和决策支持系统，在检测到风险时自动采取行动，并及时向操作人员发出预警，提供应急处置建议等</p>
		<p>危险作业机理模型</p>	<p>针对纳米金属行业中可能涉及的电击、爆炸、高温以及危化相关的设备、产线、工艺进行数字化模拟，形成机理模型，实现危险作业环节的全流程监控与风险预警，为安全管控提供精确的数据支持和决策依据</p>
		<p>危险作业自动化模型</p>	<p>依托危险作业机理模型，深度解析相关设备、产线、工艺运行状态，自动形成控制指令并下达至现场，决定相关业务具体操作行为，支撑实现对工业</p>

			设备和生产过程的自动化控制
9	能源管理	能耗监测管理模型	集成智能传感器和大数据技术，实时采集和计量能耗种类及数据，对能源消耗进行跟踪和分析，确保能源使用的透明度和可追溯性
		能耗优化模型	基于能耗数据和设备运行状态，通过机器学习和深度学习分析，优化设备运行参数和工艺流程，实现能源的高效利用，降低综合能耗
10	环保管控	污染排放监测管理模型	针对纳米金属制备过程中废气、废水、固废等污染物各自建立监测模型并整合，利用智能传感技术实时监测污染物排放，进行全过程污染物排放数据采

			集与分析，实现污染源的精准识别与管理
		污染排放优化模型	集成数据分析与决策支持技术，深入分析采集的排放数据，识别减排机会，优化工艺流程，以降低污染物排放并提升环保效能
		碳排放监测管理模型	集成物联网和区块链技术，实现全流程碳排放的追踪、记录与核算，确保碳足迹的透明度和可追溯性，为碳资产管理提供数据支持
		碳排放优化模型	结合优化算法和数据分析，分析碳排放数据，制定减排策略，优化能源消耗和生产过程，以减少单位产值的碳排放量并提高碳效率
11	供应链计划	需求预测模型	基于历史销售数据、市场趋势、客户订单等信息，

			采用统计分析、机器学习等方法预测未来市场需求，为采购计划、生产计划和配送计划提供数据支持，确保供应链上下游的协同优化
		生产计划排产模型	通过对纳米金属原材料及产品市场的需求和产能分析，合理制定原材料采购计划，支撑开展生产计划管理作业排产、计划反馈、进度监控及计划优化的一系列模型
		供应链管理模型	整合供应商、客户和物流信息，实现供应链各环节的深度整合和智能化管理，通过优化资源配置和响应速度，降低运营成本，提高市场竞争力，并支持及时响应市场需求变

			化，确保生产作业与供应链的同步和协调
12	供应链采购与交付	采购动态优化模型	集成寻优算法与知识图谱，实时分析订单、供应商及价格数据，精准掌握市场动态，通过监控价格波动与供应链变化，建立预警机制，灵活调整采购方案，多供应商备选，确保供应链稳定，实现采购订单精准跟踪与方案动态优化
		物流配送优化模型	在纳米金属材料行业的供应链配送中，根据交通状况、配送点位置、货物需求等信息，利用算法优化配送路径，实现配送路径的智能规划和动态调整，提高配送效率
13	供应链服务	供应商数字化管理模型	集成大数据、AI 算法、知识图谱，对供应商信息进

			<p>行全面采集、深度挖掘与智能分析，实现供应商的数据化、精细化管理，支持评价分级、寻源优选等功能，提高供应链透明度与效率，确保原材料质量与供应稳定性</p>
		<p>供应链风险预警模型</p>	<p>集成云计算、知识图谱，实时监控供应链上下游数据，及时识别、精准定位风险隐患，实现风险预警和高效处置，以增强供应链的弹性和可靠性</p>

5、工具软件清单

表 7-5 工具软件清单

类别	工具软件	描述	投入区 间	国产/ 进口
CAD 类	Solidworks Premium	<p>SolidWorks Premium 具有全面的 3D CAD 设计功能，涵盖钣金、焊件、模具、曲面设计等，可便捷创建各类特征与组件；SolidWorks Simulation 能进行设计验证与仿真分析，提前发现并优化设计以降本增效；SolidWorks Workgroup PDM 可进行工作组产品数据管理，自动记录修订历史并管控数据权限；具备高级渲染与可视化能力，利于展示设计概念与外观；还支持 ECAD/MCAD 协作，实现电气与机械设计协同，提升多学科团队协作</p>	4.83 万 元/年	达索 系统 集团 进口

		效率，有效保障产品各部分配合。		
	NanoCAD Pro	<p>在绘图方面，拥有丰富工具可精准创建编辑 2D 和 3D 矢量实体、文本等，且支持动态数据输入；文件管理上，能快速打开各类 CAD 文件并专业编辑验证，具有出色的原生 DWG 兼容性且多版本适配无转换数据丢失；行业应用中，可依块属性制表、处理 3D 表面及操作导入的 IFC 文件；其光栅图像处理强大，单色栅格底图可编辑且有多种实用工具；参数化设计灵活，能设对象约束关系并用参数与方程控制绘图；还具备深度自定义与扩展功能，通过可视界面编辑器和多种开放 API 满足个性化与拓展需求。</p>	399 美元 /年	Nanosoft 进口

	<p>浩辰 CAD</p>	<p>全面精准兼容主流 CAD 图纸格式与操作习惯，借自研算法和多核并行运算技术，在文件与图形常规操作的稳定性和速度方面达国内领先，2025 版还用硬件加速技术强化图像数据处理速率与软件运行效能。设计技术方面，浩辰 CAD 2025 突破参数化设计与尺寸驱动技术，新增功能模块提升设计效率与图形精确性，满足工业用户关键需求。行业应用拓展中，优化 BIM 模型相关格式导入导出与属性集编辑，支撑工程建设行业模型交互，整合三维数据转换功能助力制造业智能化建模加工。协同设计与云应用领域，浩辰 CAD 365 构建多端 CAD 云应用体系，支持 2D/3D 可视</p>	<p>1950 元/年</p>	<p>浩辰 软件 国产- 江苏</p>
--	-------------------	--	-----------------	---------------------------------

		化协同设计，方便随时随地开展项目协同、交流协作与共享，大幅简化团队交流与图档管理流程。		
	中望 CAD	能完美兼容 DWG 等主流图形格式，支持经典 / Ribbon 界面及通用快捷命令，易于上手并可实现软件无缝切换；智能绘图与注释功能强大，Power Dimension 可简化尺寸相关操作，能自动处理尺寸标注、识别调整重叠尺寸，机械符号工具助力提升精度，且支持自动创建和更新 BOM 以及气球更改同步；三维建模功能完备，在提供全面二维绘图工具基础上，支持用户运用拉伸、旋转、布尔运算等操作构建和编辑优化复杂三维图形与实体；还拥有涵盖常用件的丰	标准版 4000 元/ 年/套； 永久授 权约 10000 元 /套	广州 中望 龙腾 软件 股份 有限 公司 国产- 广东

		富零件库并支持参数化设计，输入参数即可快速设计机械零件以加快流程；同时支持多种标准，预设图层可自定义，还能进行多比例边框绘制并自动调整注释对象大小，可满足多样化绘图环境定制需求。		
CAE 类	STAR-CCM+	STAR-CCM+拥有先进的网格生成技术，在保证计算精度的同时显著提升计算效率，收敛表现更佳，还能处理复杂几何形状，涵盖多种网格类型生成作业。在多物理场建模与仿真方面极为强大，无论是单相流、多相流、粒子流与离散元法，还是反应流、热传导、气动声学、流体-结构相互作用、流变学、电磁学等诸多领域均有出色	20-30 万元/年	CD-adapco 公司进口

		<p>表现，提供全面且精确的模型库以应对不同工况。其优化功能涵盖伴随形状优化、拓扑优化及参数化优化等，能基于数值结果实现外形与参数优化。集成的工作环境可将几何导入、网格划分、模型求解及后处理集于一体，极大提高工作效率，自动化流程能大幅缩短仿真准备时间，并且可通过专用接口与通用数据格式和其他 Simcenter 仿真工具连接，达成多学科耦合与协同仿真。</p>		
	FastCAE	<p>通过标准化数据接口实现求解器和前后处理模块的无缝对接，支持以插件形式扩展新功能；提供直观易用的图形用户界面，简化几何建模、网格生成、边界条件设置等步骤；自带几何编辑、</p>	定制	<p>青岛 数智 船海 科技 有限 公司</p>

		<p>网格划分、结果可视化工具及材料库，覆盖全流程需求；可整合自研求解程序及接入主流第三方 CAE 工具，还具备全流程脚本控制功能，能实现自动化仿真流程。</p>		<p>国产- 山东</p>
<p>PLM 类</p>	<p>Siemens Teamcenter</p>	<p>核心功能涵盖产品数据管理，集中管控 CAD 模型、工艺文件等各类数据，确保数据准确一致；变更管理可高效处理变更请求，准确评估记录变更影响；配置管理能有效管理产品不同配置变种；项目管理助力规划和跟踪项目进度等，确保项目成功；制造过程管理可优化制造流程，提高生产效率与准确性；质量管理可保障产品质量，提升客户满意度；协</p>	<p>7000 美 元/年/人</p>	<p>Siemens 进 口</p>

		同工作则实现跨部门、地域的高效协作。		
	智橙 PLM	产品数据管理，可集中存储、控制版本及追溯数据；协同设计平台，支持多人在线协作及多种格式导入导出；生产流程管理，实现生产过程可视化与优化；质量管理，监控产品质量并提供改进建议；维护与售后服务管理，跟踪记录产品维护情况等。此外，还具备强大的零部件、图文档、BOM 等管理及变更、任务、编码等管理功能。其价格方面，智橙 PLM 是 SaaS 版 PLM 系统，采用按需付费模式，用户可根据业务需求，按需购买存储空间、席位、应用和功能。	定制	橙色 云互 联网 设计 有限 公司 国产- 山东

MES 类	<p>西门子 Opcenter Execution Pharma</p>	<p>提供生产过程管理、物料管理、资源管理、质量管理、文档管理等功能。通过集成化的平台，实现生产流程的标准化和自动化，确保产品质量和生产效率。其优势在于高度可配置性和可扩展性，能够满足不同规模和复杂程度的纳米金属企业的需求，并且支持与其他西门子工业软件以及第三方系统的集成。</p>	<p>基础版 本 20-30 万元/年</p>	<p>西门 子 进口</p>
	<p>罗克韦尔 FactoryTalk ProductionCentre</p>	<p>涵盖生产调度、资源管理、质量控制、数据采集与分析等核心功能。能够实时监控生产设备的运行状态和生产数据，通过智能分析提供优化建议，帮助企业提高生产效率、降低成本。此外，它还具备强大的可视化功能，通过直观的界面展示生产信</p>	<p>15-25 万 元/年</p>	<p>罗克 韦尔 自动 化 进口</p>

		息，便于管理人员进行决策。		
	深科特 LEAN MES	提供生产计划与排程、生产数据采集与监控、质量管理、设备管理、仓库管理等功能模块。能够与 ERP 系统对接，实现数据实时交换，通过数据分析平台为企业提供多维度实时报表，帮助企业优化生产流程、提高生产效率和产品质量。	小型企业每年投入约 8-15 万元；中型企业约 20-35 万元；大型企业则可能超过 50 万元	深圳市深科特信息技术有限公司 国产-广东
	万界星空 科技 MES	涵盖制造数据管理、计划排程管理、生产调度管理、库存管理、质量管理等众多管理模块。可实现信息存储及追溯，通过扫码等技术自动	定制开发及技术支持 服务费用约 5-	万界星空科技 国产-上海

		校验和提示，防止生产错误；还具备 WEB 访问模块、数据统计分析模块、生产看板模块等，支持与 ERP 系统无缝连接。	15 万元/年	
	华磊迅拓 OrBit-MES	实现生产数据采集与分析、生产计划管理、生产过程控制、质量管理、车间库存管理、项目看板管理和设备管理等全流程功能。具有可视化流程建模引擎和应用套件，可深度融合企业各业务场景。	OrBit-MES 旗舰版 480000 元/年	华磊迅拓 国产-广东
SCADA 类	AVE VA Edge	集合各式自动化套件的高端跨平台 SCADA、HMI 整合型开发工具，具备友善的图形化设计工具、丰富的动态显示效果、完整的安全管理机制、智慧的远端诊断及控制等特点，运行可靠。	软件授权及基础配置 40-80 万元左右，高级功能模块、	AVEVA 集团 进口

			定制化 开发以 及专业 技术支 持服务 100-300 万元左 右	
	Sovit2D	采用标准 HTML5 技术，基 于 B/S 架构开发，提供丰富 的行业组件及多数据源接入 能力，支持轻量化外部系统 集成能力。通过简单的拖拉 拽操作，即可设计出满足企 业各类数据管理场景的应 用，集成了大量通用模块和 个性化模块，以实现不同行 业用户的需求。	企业标 准版 5- 15 万/年	数维 图科 技有 限公 司国 产-湖 南

DCS 类	SIMATIC PCS 7	为工业过程自动化提供完整解决方案，融合过程控制、自动化和操作功能于一体，具备高度的灵活性和可扩展性。支持标准化工程工具，与西门子硬件深度兼容，可实现从单一控制系统到复杂多站点控制配置的无缝集成。	80-150 万/年	Siemens 进口
	ForceSCADA	作为企业用户工业信息化应用的基础软件平台，可实现生产设备的数据采集、存储、实时监控、历史数据查询、报警及趋势分析等功能。支持跨平台部署，适配国产 CPU、操作系统，可与国产 PLC 硬件控制器、数据库联合应用。	40-100 万/年	北京力控元通科技有限公司 国产-北京

	CENTUM VP	综合性的过程控制系统，集成了工艺控制、生产管理和业务计划过程，提供高度可靠和可用的控制解决方案。具备易用的操作界面和高级的技术工具，可快速响应市场变化并优化生产过程，实现对工业生产的高效管理和精确控制。	50-90 万/ 年	横河 电机 株式 会社 进口
PCS 类	霍尼韦尔 - Experion PKS	作为强大的过程知识系统，提供先进的工艺控制、安全管理和资产管理功能。可支持从单一控制层到整个企业范围的控制策略，与霍尼韦尔的 C300 控制器等硬件配合，形成一体化解决方案，具备灵活的系统架构和强大的程序设计功能。	60-120 万/年	霍尼 韦尔 国际 公司 进口

	北京和利时-MACS	具有开放的体系结构和丰富的功能模块，可实现对生产过程的数据采集、处理、控制、报警、趋势分析等功能。支持多种现场总线和工业以太网协议，能够与不同厂家的设备进行无缝集成，为企业提供了一个统一的、集成化的过程控制系统平台，可广泛应用于化工、电力、冶金、建材等行业。	80-150万	北京和利时系统工程有限公司 国产-北京
PLC类	西门子 - TIA Portal	作为西门子最新且最为集成的自动化软件平台，支持 S7-1200、S7-1500 系列等先进的 PLC 设备和 HMI 界面设计，实现了 PLC 编程与仿真、人机界面（HMI）设计和驱动器参数配置等一体化的工程设计环境。提供直观的编程界面，支持五种国际标准化组织（IEC）定义的编	999-20000 元	西门子进口

		程语言，可进行硬件配置、数据监测、远程访问、故障诊断等操作。		
	汇川 - AutoShop	支持汇川 PLC 的编程与调试，提供直观的图形化编程界面，可使用梯形图、指令表、顺序功能图等多种编程语言。具备强大的运动控制功能，能够满足纳米金属行业中对高精度运动控制的需求，如金属加工设备的精确位置控制、速度控制等。同时，支持与汇川的变频器、伺服驱动器、人机界面等设备的无缝集成，实现完整的自动化控制系统解决方案。	198-3980 元/台	汇川 技术 股份 有限 公司 国产- 广东
APS 类	ABB Ability™ Genix APS	借助大数据和机器学习技术，对生产过程中的海量数据进行分析和挖掘，从而实现更精准的需求预测、生产计划优化和资源调度。可以	80-150 万元/年	ABB 集团 进口

		与 ABB 的自动化设备、控制系统以及其他企业管理系统无缝集成，提供端到端的生产运营优化解决方案，帮助企业提高生产灵活性、响应速度和竞争力。		
	安达发 APS	全流程一体化软件解决方案，能实现 APS 智能优化排程、AMRP 高级物料需求计划等功能。可精确计算每批生产所需原材料，详细规划复杂工艺流程，考虑设备产能等资源约束进行优化分配，还能应对定制化需求，支持批次管理和质量控制，兼顾环境与安全、能源和成本效率等，提供可视化工具促进跨部门协作。	软件 68-128 元/月/用户； 通用设备数据采集 28-49 元/月/台机	安达发信息技术有限公司 国产-福建

APC 类	ABB Ability™ APC	借助 ABB 在自动化领域的深厚技术积累和丰富经验，该软件能够实现对纳米金属生产过程中的复杂工艺流程的精确控制和优化。通过与 ABB 的控制系统、传感器、驱动器等设备的紧密集成，实时采集和分析生产数据，运用先进的控制算法和人工智能技术，自动调整生产参数，以达到最佳的生产性能和质量指标。此外，还具备远程监控和诊断功能，方便工程师对生产过程进行远程管理和故障排除，提高生产的可靠性和灵活性。	定制	ABB 集团 进口
	先进控制和过程优化软件 (APC)	聚焦流程工业自动化、数字化、智能化需求，助力流程工业实现生产过程自动化和企业运营自动化。能够对生产过程中的数据进行实时采	2-5 万元	中控 技术 股份 有限 公司

		集、分析和处理，基于先进的控制算法和模型，实现对生产过程的精确控制和优化，提高生产效率、降低能耗和成本，提升产品质量和稳定性。		国产- 浙江
WM S 类	林德 MyMA	可打通收货、质检、入库或出库全流程，各环节数据实时同步，实现对仓库内物品的高效管理和精准追踪，确保仓库运营井然有序。作为林德全栈应用软件的一部分，还能与 WCS 设备管理、WES 业务执行、DIV 数据可视化等功能模块协同工作，实现生产、物流流程系统再造、执行运营策略与优化和数字化看板管理，打通线边仓储、产线配送到仓库存储的全业务场景。	定制	林德 (中国) 叉车有限公司 进口

	旺店通 WMS	系统集成了入库、存储、拣选、打包、出库等全流程管理，支持智能波次策略与路径优化，可显著提升仓库作业效率。具备强大的库存预警、盘点管理以及数据分析功能，能帮助企业精准掌握库存动态，优化库存结构，降低库存成本，并且支持与主流电商平台、ERP 系统等无缝对接，实现订单、库存、物流等信息的实时同步。	定制	慧策 (北京) 科技有限公司 国产-北京
TMS 类	Manhattan Associates TMS	专注于物流配送和仓储管理的协同优化，能够实现运输计划与仓库库存的实时同步和动态调整。提供智能的订单分配和车辆调度功能，根据订单优先级、车辆位置和载重量等因素，自动分配订单和调度车辆，提高配送效	定制	曼哈 特公 司 进口

		率。此外，还具备强大的数据分析和绩效管理功能，帮助企业评估运输绩效，发现问题并及时改进。		
	金蝶 TMS	可实现运输业务的一体化管理，包括订单管理、调度管理、车辆管理、运费结算等。提供运输路线规划和优化功能，基于地图数据和运输成本模型，为企业推荐最优的运输路线。支持与金蝶的其他企业管理软件集成，实现数据共享和业务协同，提高企业整体运营效率。	10-25 万元	金蝶国际软件集团有限公司 国产-广东
CM MS 类	TeroTAM	通过数据驱动的仪表盘提供组织活动的全面视图；简化库存管理，包括集中零件信息、自动采购等；提升资产可靠性，集中存储资产数据；还具备资产追踪、投诉	4-10 万元/年	TeroTAM 公司进口

		追踪与管理、设施管理、任务管理等功能。		
	简道云	设备台账管理可全面记录设备基本信息等；维护计划与工单管理能设置定期维护计划并自动生成工单；实时设备状态监控借助传感器和物联网技术监测设备运行状态；数据报表与分析可生成多种报表助力企业决策；故障报警功能在设备异常时自动提醒相关人员；用户权限管理可按角色分配不同操作权限。	3-8 万元/年	帆软 国产- 江苏
EAM /AM S 类	甲骨文 (Oracle) 资产管理系统 (AMS)	资产跟踪功能可全面监控纳米金属企业的各类资产，包括设备、仪器等的位置、状态、购买日期、价值、保修及维护记录等信息。库存管	定制	甲骨 文公 司 进口

		<p>理能确保原材料、零部件等物资的合理库存，预测分析则依据历史数据预估未来资产需求，维护管理可跟踪资产维护维修记录并及时提醒，报告和仪表盘功能提供实时资产信息及各类分析报告。</p>		
	<p>金蝶 K/3 WISE</p>	<p>在财务管理上涵盖财务核算、资产管理、成本管理、预算管理以及资金管理，助力企业精准处理财务事务、管控资源与成本、实现资金有效调配；在供应链管理方面涉及采购、销售、仓库、存货核算以及质量管理等全流程业务管理，能有效规范并提升各环节运作效率；在生产制造管理中包括生产数据、生产计划以及生产任务等管理内容，可帮助</p>	<p>10000- 50000 元 /年</p>	<p>国产+ 金蝶 软件 (中 国) 有限 公司 国产- 广东</p>

		企业建立完善的生产基础数据规范，制订合理生产计划并有序开展生产任务。		
QMS 类	西门子 Opcenter Quality	提供全面的质量管理解决方案，涵盖质量计划、质量控制、质量检验、质量分析等功能模块。支持产品全生命周期的质量管理，从设计阶段到生产制造再到售后服务。可与西门子的其他工业软件，如 MES、PLM 等进行深度集成，实现数据的无缝流动和协同工作，具备强大的数据分析和统计功能，帮助企业发现质量问题的根源并制定改进措施。	定制	西门子 进口
	云质 QMS	提供全供应链质量管理，包括供应商管理、来料检验、过程检验、出货检验、不合格品处理等全过程质量管理模块。可自定义评审内容，	2-5 万元/ 年	云质 信息 国产- 上海

		多维度对体系、过程、产品、供应商、产线等进行评审。具备云质移动报表，以柱状图、曲线图、饼图等方式灵活呈现数据，为决策层提供实时依据。		
EHS 类	Benchmark Gensuite	涵盖环境、健康与安全、可持续性 / 气候、ESG 披露报告、质量、人工智能与先进技术等多个模块。能保护员工并管理事故、检查、危害、化学品安全、培训、许可和流程；可提升可持续性表现，评估气候风险并报告改进情况；还能确保投资级数据，满足监管要求并实现 ESG 目标。	定制	上海环安软件有限公司进口
	简道云 EHS 安全健康环	包含隐患管理、风险管理、事故管理、设备管理、危废品管理、健康管理、培训管理、绩效管理、作业票管理	基础版 免费， 标准版 5980 元/	帆软 国产- 江苏

	境管理系 统	等 9 大业务模块，可将企业的环境健康安全管理从手工记录向信息化水平推进。	年；专业版 12980 元/年起； 尊享版 25980 元/年起， 旗舰版 49980 元/年起	
EMS 类	Siemens Energy Management System	提供能源数据的全面采集与监控，涵盖电力、燃气、水等多种能源类型，可实时监测能源消耗状况及设备运行状态。具备强大的能源分析与优化功能，通过深入的数据分析和建模，为企业制定科学的能源管理策略，助力优化能源系统运行，降低能源成本，提升能源利用效率。此外，该系统支持与企	3131.42 元/台/年	西门子 进口

		业的其他关键系统，如生产管理系统、自动化控制系统等进行无缝集成，实现能源管理与生产运营的高效协同		
	织信 Informat	织信 Informat 可用于企业信息化系统开发、企业内部业务流程系统开发（含自动化流程和待办工作流），同时支持为任何行业构建解决方案。织信 Informat 的客户可以在平台上构建（OA、CRM、MES、进销存、绩效、项目）多种解决方案，除了支持这些常见系统，还能支持：端到端人力资源管理系统、集装箱货运站（CFS）、员工入离职、发票处理、资产管理、访客管理、员工差旅和费用管理。	申请试用：0元/一个月试用； （全功能开发） 本地私有部署 版：价格按具体需求和账户数而定； （全功能功	深圳 基石 协作 科技 有限 公司 国产- 广东

			能，提供技术支持和定制化服务，本地化部署)	
ERP 类	SAP ERP	<p>作为一款国际知名的 ERP 软件，涵盖了财务会计、管理会计、生产计划与控制、物料管理、销售与分销等多个模块，能够实现企业资源的全面整合和管理。在纳米金属行业，可对复杂的生产流程进行精确规划和调度，对金属材料的采购、库存和销售进行严格管控，同时提供强大的数据分析和决策支持功能，帮助企业优化运营流程、降低成本、提高生产效率和产品质量。</p>	150 万元	德国 SAP 公司 进口

	中软 ERP	<p>具有智能物控功能，通过供应商协同平台建立跨组织双赢的业务联动机制，实现线下物料、单据的自动流转；</p> <p>APS 排程可协助工厂实现工序级计划排程并精确到时分，防止缺料急采、停工待料等异常情况；MES 联运实现工单管理、生产汇报、设备监控等实时控制台，提升车间整体运作效能；云看板建立多维度的电子看板信息展示，实现生产制造全面可视透明化、实时性、智能化的管理与控制；还包括精模管理、财务控制、CRM 以及协同平台等功能。</p>	8-15 万元/年	中软国际科技服务有限公司 国产-浙江
--	--------	--	-----------	-----------------------

<p>用友畅捷通金属制品 ERP</p>	<p>是一款专为金属制品行业设计的综合性企业资源规划系统，集成了生产管理、库存控制、采购与供应链管理、财务管理、销售管理和质量管理等核心功能，支持从订单到交付的全流程精细化管理，并提供实时数据采集分析、严格的质量监控和移动应用支持，帮助企业实现高效运营和科学决策。</p>	<p>首年 15 万元左右；后续 5 万元/年左右</p>	<p>用友网络科技股份有限公司 国产-北京</p>
<p>金蝶云星空</p>	<p>核心功能包括财务云提供多会计准则、多核算体系的智能财税管理，实现财务核算自动化智能化；供应链云基于可组装 EBC 底座构建敏捷供应链，整合上下游资源实现高效协同；制造云融合精益思想，支持集团化 BOM 管理和生产变更响应等；全渠道云实现经销商及终端客</p>	<p>13800 元 /年</p>	<p>金蝶软件（中国）有限公司 国产-浙江</p>

		<p>户一体化管理；PLM 云建立从需求到产品实现的闭环管理助力研发；数据智能云运用大数据与 AI 技术赋能企业决策，助力全方位提效和全流程优化。</p>		
SCM 类	金蝶 K/3 Cloud 供应链管理	<p>包括采购管理、销售管理、库存管理、生产管理等核心模块，支持多组织、多工厂的供应链协同，能够实现对供应链各环节的精细化管理和控制。提供灵活的业务流程配置和强大的数据分析功能，帮助企业优化供应链流程，提高运营效率和决策准确性。</p>	12000 元 /年	金蝶软件（中国）有限公司 国产-浙江

	携客云 SRM	具备供应商全生命周期管理，涵盖从潜在供应商引入到正式交易及退出的全流程；实现高效的订单与 FCST 计划协同、来料过程管理、条码标签打印、质量协同等功能，还包括自动对账及发票处理、供应商绩效评价以及在线的询价招标和竞价平台等，可与 ERP 自动同步业务数据。	30000 元	携客云科技有限公司 国产-重庆
CRM 类	HubSpot CRM	具有多方面核心功能，可集中管理客户信息，涵盖丰富细节，为个性化服务奠基；能实现销售流程自动化，预设营销活动并自动执行，助力优化流程与提升业绩；集成强大营销自动化工具，简化流程以达精准营销；提供可视化销售管道管理，便于掌握销售进展；拥有完善客	基础版 免费	HubSpot, Inc. 进口

		<p>户服务功能，多渠道响应并跟踪问题；支持电子邮件跟踪与互动通知，推动及时跟进；还具备全面的分析和报告功能，为企业决策提供有力依据。</p>		
	<p>纷享销客</p>	<p>是国内的连接型 CRM，主打帮企业实现工具、人和业务三个维度的连接，进而提高全价值链写作效率，提升企业的增长效能。产品覆盖营销、销售、服务、渠道管理与快消分销与订货等各种场景，具备智能化全渠道营销、从线索到现金的业务闭环、连接伙伴业务洞悉渠道数据、连接全员业务协同、连接生态和系统等功能，还拥有高效率、低成本的数字化业务定制平台和与业务深度融合的智能分析平台。</p>	<p>300 元/人/年</p>	<p>纷享销客信息技术股份有限公司 国产-北京</p>

BI 类	Power BI	能够将各种数据源集成在一个平台上，提供强大的数据建模和查询功能，用户可轻松创建仪表盘、报表和数据分析应用。内置数据链接功能，可建立维度表和事实表之间的关联关系，形成关联模型。支持与其他 Microsoft 产品无缝集成，如 Excel、Azure 和 Dynamics 365 等，还可实现自然语言查询和人工智能驱动的分析。	120 美元 /人/年	微软 进口
	帆软 FineBI	主打超大数据量性能和自助式分析，支持从数据采集到 ETL 处理、数据建模、数据分析、数据可视化等全流程的一站式解决方案。特别适合处理大规模数据集的企业，提供秒级响应的大数据分析能力。	160000- 300000 元/年	帆软 国产- 江苏

工业 互联网 平台	西门子 MindSphere	涵盖设备管理、能源管理、生产流程优化、供应链管理等多个核心功能模块。在纳米金属领域，能够连接各类生产设备和系统，实现设备的远程监控和管理，通过数据分析优化设备运行状态，降低能源消耗；借助强大的生产流程建模和仿真功能，对纳米金属的生产过程进行优化，提高生产的灵活性和效率；同时，可整合供应链上下游信息，实现供应链的可视化和协同优化，提升企业的市场响应能力。	定制	西门子进口
	树根互联 ROOTCLOUD	提供设备联网监控、故障诊断与预测、远程运维、生产管理优化等功能。在纳米金属行业，可实现对生产设备的实时数据采集与分析，帮助企业提前预测设备故障，	50 万以上	树根互联技术有限公司

		减少停机时间；通过对生产过程数据的深度挖掘，优化生产工艺参数，提高生产效率和产品质量；还支持产业链上下游企业间的数据共享与协同，提升整个行业的协同制造水平。		国产- 北京
碳资产管理平台	万泽时代 SmartCA MP 智能碳资产管理平台	为企业建设配额管理、CCER 项目管理、排放计算、交易履约管理等全业务流程统一管理的信息化平台，为集团企业、碳资产公司、二级单位（区域公司）、三级单位提供统一的碳排放管理全过程的技术支撑和管理，实现业务管控与资源共享，提升碳资产管理水平和效益。	10-20 万元/年	万泽时代 国产- 广东
	CarbonChain 平台	作为人工智能驱动的碳跟踪平台，为制造商和商品交易商提供经第三方验证的方法，用于计算企业碳足迹和	基础版 15-25 万/年	CarbonChain 公司

		产品碳足迹排放量，并使用独立排放数据库填补数据缺口。可自动进行碳核算，帮助企业测量、报告并设定排放目标，提升供应链碳核算精确度，尤其适用于金属和能源供应链。		进口
废弃物料管理平台	瑞铂云 LabOS 物料管理系统	涵盖物料基础信息管理，如规格品类信息共享等；实现物料领用的标准化、规范化；具备快捷灵活的数据统计功能，包括项目成本统计、申购计划预测等；可实时管理数据，提供库存状态显示、低库存预警、超期提醒等功能；还包括完善的质量管理体系。	免费试用	绿绵科技有限公司 国产-北京
	协讯环保云工业固体废物管理系统	系统管理模块提供全面的用户、角色和日志管理；工作流程管理可自动化业务流程；基本信息管理便于对车	12800-15800 元	协讯环保云

		<p>辆及设备基础信息进行数据统计和分析；电子标签生成功能通过车辆照片快速生成电子标签；地磅数据处理可实时采集并处理地磅数据，并生成报表；报告反馈处理能实时监控异常情况并及时通知；电子数据标签报告可将电子标签数据上传至相关管理部门；车辆白名单管理增强系统安全性；设备状态管理实时监控设备运行状况并提供故障报警和维护支持；视频管理实现实时视频监控。</p>	<p>国产- 北京</p>
--	--	---	-------------------

6、网络化联接设备清单

表 3 网络化联接设备清单

适用场景	设备名称	主要功能	投入区间	国产/进口
所有场景	工业防火墙	用于监控和控制进出网络的数据流，防止未经授权的访问和网络攻击，保护关键工业控制系统和数据安全，确保网络的稳定性和可靠性。	10000-50000	思科 (Cisco) 进口
				启明星辰 国产-北京
所有场景	工业路由器	负责在不同网络或子网之间转发数据包，实现网络互联（包括内外网互联）。	1000-10000	西门子 进口
				华为 国产-广东

	工业网关	主要负责不同网络协议之间的转换，实现不同网络系统间的互联互通，并提供数据过滤、安全隔离和协议转换等功能，保障工业网络的数据安全和稳定运行。	5000-25000	西门子进口 研华科技 国产-厦门
	核心交换机	作为网络中心节点，负责高速转发数据，连接各个子网和网络设备，确保网络的稳定性和可靠性，是整个内	2000-20000	思科 (Cisco) 进口 新华三 国产-浙江

		部网络通信的关键枢纽。		
	工业以太网交换机	用于建立局域网（LAN）或广域网（WAN），实现设备之间的数据传输与通信。	1000-10000	思科（Cisco）进口
				新华三 国产-浙江
	工业无线路由器	连接无线网络和有线网络的关键设备，负责将无线信号转换为有线信号，或将有线信号转换为无线信号进行传输。	1000-10000	西门子进口
华为 国产-广东				
	工业以太网线缆	实现工业设备和系统间的实时通信，支持	0.5 元/米-5 元/米	西门子进口
				亨通

		高速数据传输、广泛的设备兼容性及强大的抗干扰能力，提高工业流程的效率和灵活性。		国产-江苏
	光纤线缆	起着高速、高带宽的数据传输作用，具有抗干扰性强、传输距离远、损耗低等优点，可确保工业数据的实时、稳定传输，提高工业网络的可靠性和效率。	1元/米-10元/米	长飞 国产-湖北
				亨通 过长-江苏

7、行业数字化转型人才技能清单

表 7-6 行业数字化转型人才技能清单

序号	人才技能类型	描述
1	研发设计人才	需精通 CAD 建模与绘图，掌握 CAE 仿真分析，确保产品设计既符合性能又便于制造，具备扎实的数理力学基础、创新空间思维，了解制造工艺与材料，并具备出色的团队协作与沟通能力，与设计、制造部门紧密合作，共同优化产品，提升市场竞争力。
2	生产技术人才（软件实施工程师）	应具备跨领域专业知识，包括对制造工艺、流程原理的深刻理解，以及信息技术和平台运营的实践经验；需要掌握 MES、ERP 系统的原理和架构，具备数据库管理、网络技术和软件开发的知识，同时能够理解企业的生产流程和业务需求；熟练掌握 APS、APC、SCADA、WMS、TMS、CMMS、EHS、EAM/AMS 等一

		<p>种或多种系统及其背后的专业能力；同时，还需要具备出色的沟通和协调能力，以便与不同部门和人员合作，与用户进行有效沟通，确保项目的顺利实施和团队的协同工作。</p>
3	质量专家	<p>需要掌握质量管理的理论知识和实践技能，熟悉相关法律法规，并能熟练运用 ISO9001 等质量管理体系标准；能够熟练操作 MES 和 QMS 等信息化系统，实现全生命周期的质量管理，通过数据采集和分析为产品的质量控制提供数据支持；具备创新能力，利用数字化工具优化设计验证、质量控制和质量改进流程，提升质量管理的精细化和智能化水平；另外，质量管控专家应具有强烈的责任感和良好的职业操守，以确保质量管理工作的高效和诚信。</p>

4	<p style="text-align: center;">能源管理专家 ——可外聘或与专业服务商合作</p>	<p>应具备制定科学合理的能源管理战略的能力，明确节能减排目标，并规划实施路径，帮助企业建立和完善能源管理制度体系，涵盖能源计量、统计、分析和考核等环节，确保能源管理有据可依、有章可循；熟悉能源管理相关的法律、法规及能源标准，能够有效地进行能源的日常统计工作、能源使用检查和监管生产能源使用情况；应当能够熟练操作MES、EMS等系统，实时监控生产过程中的能源状况，有效控制能源消耗；此外，应具备跨部门协作能力，协调各部门之间的能源管理工作，形成合力，共同推进节能减排目标的实现。</p>
5	<p style="text-align: center;">环保管控专家 ——可外聘或与专业服务商合作</p>	<p>掌握专业知识与技能，包括对环保相关法律、法规及能源标准的熟悉，以及在污染物排放、废弃物处理和碳排放管理等方面的日</p>

		<p>常统计工作、检查和监管的专业技能；能够综合运用 MES、EMS、碳资产管理平台以及废弃物料管理平台等信息化工具，通过实时监控生产过程中的污染排放和资源、能源消耗，有效控制和管理污染排放和碳排放；同时，能够根据企业实际情况制定科学合理的环境管理战略，明确减排目标，并规划实施路径。最后，跨部门协作能力必不可少，专家需要与生产、工艺、设备、物流等多个部门进行有效沟通，确保环保管控措施的顺利实施。</p>
6	供应链管理专家	<p>具备熟练运用供应链方法、工具和技术的能力，能够跨采购、生产、物流、销售和服务等环节进行协同工作，有效控制成本并提升供应链的准确性和安全性；具备项目管理技能，能够规划和管理 ERP、WMS、SCM、CRM 等</p>

		项目，确保项目目标的实现；此外，应具有创新思维，能够提出新的客户管理理念，优化客户体验，提高客户满意度和忠诚度。
7	数据分析专家	需具备数据处理、分析、预测的综合能力，应精通 SQL、Python 等工具进行数据清洗与整合，熟练运用 BI 系统（如 Tableau、Power BI）进行数据可视化与报表生成；需掌握统计学原理与数据挖掘技术，深入理解业务流程，为研发设计、生产作业及产供销一体化提供有价值的洞察；还需构建准确的预测模型，利用决策支持系统优化生产计划与销售策略。此外，跨领域协作与沟通能力同样重要，他们需与各部门紧密合作，清晰表达分析结果。

附件 3 典型案例

典型案例 1：江苏金发科技新材料有限公司

（1）企业基本情况

江苏金发科技新材料有限公司（以下简称“江苏金发”）是一家专业从事改性高分子材料的研发、生产和销售的服务型科技企业。产品广泛应用于汽车、高速铁路、家电、电动工具、节能照明、体育器材以及航空航天等领域，涉及大众、宝马、博世等国内外知名品牌。江苏金发先后获江苏省院士工作站、江苏省高分子合金材料工程技术研究中心、江苏省企业技术中心等荣誉，是江苏省新材料产业协会副会长单位。公司目前拥有授权专利 76 件，已申请专利近 300 件，参与制定了 10 余项国际、国家标准，其中第一作者 4 项。

（2）实施智改数转的主要做法

江苏金发高度重视企业的智改数转工作，任命首席信息官，统筹企业相关工作，成立信息管理部 and 工艺装备部配合实施相关工作，已累计投入相关费用超 5 亿元。具体做法包括：

通过对公司 MES 现状的分析，将智能制造技术、物联网技术、信息技术与互联网相融合，以实现对公司生产过程全方位的监控管理和生产订单全程追踪管理的总体目标，开发出互联网技术支持平台，实现产品的全互联网化操作，包括原材料供应、订

单定制、生产过程、物流信息及市场销售等环节，建设智能立体仓库、集中供料等智能化系统。将上下游企业和公司内部的智能制造紧密联系在一起，为行业及上下游企业提供资源共享与服务平台；并通过数字化技术的应用分析，实现质量的实时跟踪分析和数据的可追溯性。克服了行业多个难题，开创行业数个第一：首家“前端计量”，实现精确配送；首家“玻纤输送”，克服玻纤行业重大难题；首家解决“物料输送”水份控制的难题；首家实现“多批次、小批量”生产模式的集中供料等，对改性高分子材料行业的发展有重要推进意义。

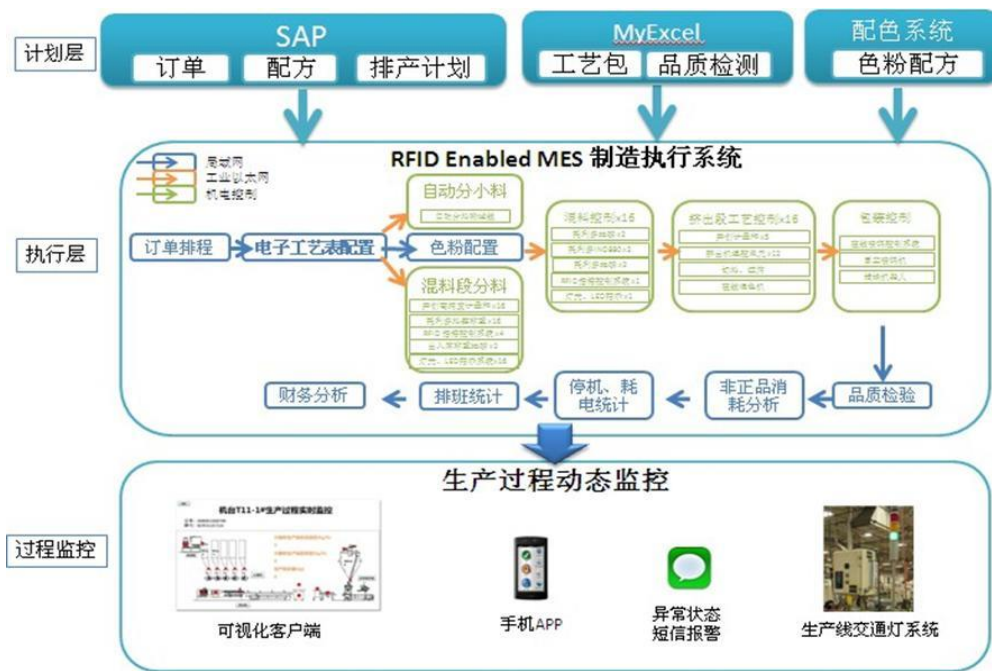


图 7-1 金发科技智能工厂架构



图 7-2 金发科技车间现场

以 SAP 平台为核心，设计开发供应链协同、设计协同、用户协同的新型开放式的生产组织模式，实现生产全流程的信息化和自动化控制，改变传统的配方定制的行业生产模式，具有高效、可靠、低成本的特性。ERP、CRM、CSM、WMS、PLM 等一系列企业管理应用系统、制造执行系统和自动化控制系统进行高度集成、信息实时共享，打通企业生产运营的各个环节。

（3）实施效果

数字化转型工作开展以来，江苏金发的生产经营取得显著成效，设备效率提高 30%以上，人均效率提升 50%以上，同时，总生产成本降低 10%以上；并显著提升企业的技术水平和行业地位，增强了市场竞争能力。

典型案例 2：江苏康辉新材料科技有限公司

（1）企业基本情况

江苏康辉新材料科技有限公司是一家集研发、生产、销售于一体的新材料企业，主要产品有高端功能性聚酯薄膜、功能性塑料等。公司通过实施智改数转网联，增强技术效益和核心竞争力，实现快速发展。

（2）实施智改数转的主要做法

公司按照总体规划、分步实施、持续改进的原则制定数字化发展路线，充分利用信息化技术，优化、重构业务流程，实现企业内外部信息的共享和有效利用。目前，已投入超 1700 万元用于软硬件系统平台建设，实现了办公、采购、销售、生产、库存、供应链一体化管理等功能。

1. 柔性生产计划的制定与执行

通过自动采集、自动共享、条码扫描等方式，将物料、BOM、订单、工序、工时、完工情况等数据与 MES 直接联机共享，建立一套基于生产工艺流程的实时数据采集与处理平台，为 HENGLINK 生产管理系统提供数据支撑。

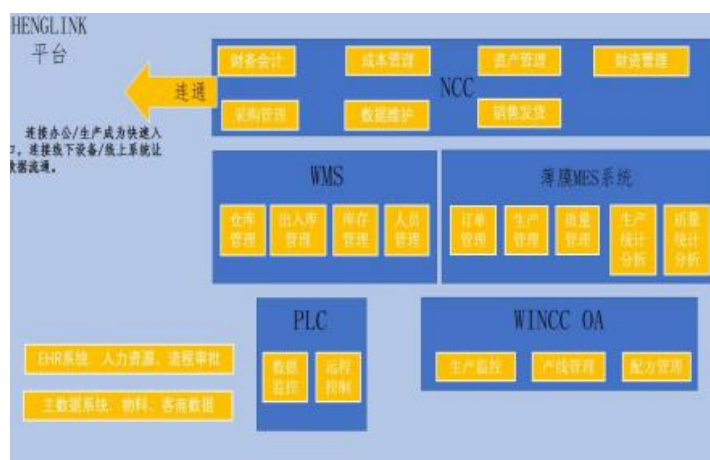


图 7-3 康辉新材柔性生产计划

2.资源动态管控

以 HENGLINK 系统为统一平台，实现 ERP、MS、MES 等系统的互联互通，完成人力、设备、物料等制造资源的动态配置和管控。通过 OA 系统实时监控生产、质量和运行情况，完成温度管理、配方管理、厚度控制、拉伸过程控制、数据分析等操作。

3.先进过程控制

全面推广 NCC 系统，一方面从生产计划、生产准备、物流配送、生产过程、质量判定、物料出入库整个过程进行管理，另一方面，对关键生产设备进行联网，通过 PLC 群控，将设备状态透明化，以便及时调整生产计划，同时进行设备数据采集，完成设备的维护保养。

4.精准配送

从包装、发货到售后全流程智能化管控，将 MES 系统与 AGV

的 NDC 系统对接，通过接口下达呼叫命令，由 NDC 系统对叉车进行调度实现智能输送，其中，AGV 小车用于物料的回收运输，AGV 叉车用于车间到仓库的成品输送。

5.设备自动巡检

在生产过程中，引进行车及其运行控制软件，集成起升控制软件、基于视觉的自动纠偏系统等构建起重机智能防晃系统，通过绝对编码器对每个钢芯架以及放卷上下料位置进行定位，实现聚酯薄膜车间和分切中心上空起重设备的自动运行。

6.能源监测与优化

车间能源消耗以电、天然气为主，耗能工质为水，使用 PLC 有效采集各类能源计量仪表的信号，并通过内部转换与计算，显示各能源的瞬时与累计用量，实时计算能耗，提供相应的能源预警和报警功能，以达到能源综合监控和管理要求。

（3）实施效果

公司通过智能车间建设，实现了订单处理、生产调度、产品检验、包装存储、发货等环节的全流程智能处理，经济效益稳步提升，人员配备减少 15%以上，单位能耗下降 4.8%，产品净利润提升 1.5%。

典型案例 3：同享（苏州）电子材料科技股份有限公司

（1）企业基本情况

同享（苏州）电子材料科技股份有限公司专注于太阳能光伏组件用涂锡铜带以及电子配套产品研发、生产、销售，主要产品为光伏互连焊带和汇流焊带。公司通过实施智改数转网联，持续改善生产和管理水平。

（2）实施智改数转的主要做法

1. 产品数字化设计与仿真

公司自主研发数字化设计管理系统模块，具备模型构建、功能验证、设计优化及智能化辅助设计等能力，首次制备的实物样品及设计工艺，返工率降低 50% 以上，产品涂层厚度、同心度等性能参数验证通过率显著提升。

2. 柔性生产计划的制定与执行

MES 系统根据销售情况、出货情况进行生产计划安排，设置预计发货客户、日期等信息，并向车间下达实际生产任务，自动生成领料单，通过接口推送给 WMS 系统进行物料分配，实现车间作业的优化管理。

3. 先进过程控制

引进数据采集传输仪等数十套自动化设备，优化生产数据的采集和存储方式，对生产数据进行分析，改善产品工艺，提升多

主栅晶体硅光伏组件用焊带产品的批量化生产效率。

4.智能仓储

应用 WMS 系统作为物料仓储、物流进出以及实物库存存储的执行单元，对产品的仓储物流进行管理，实现物料出入规则及物料追溯 100%有效管控。采用物料条码化赋能管理，将物料流转管理由传统 ERP 系统的单据处理转变为现场实物扫码流转，实现库存产品实际存量和分布的实时管理。

5.精准配送

应用 AGV 小车配合机器人实现物料配送，机器人通过设置指令，完成焊带线圈的抓取、送货、运输等功能。在入库、生产、仓储、销售等过程中，提前使用 PDA 设备进行扫描，对不同环节涉及的操作人员、物料号、设备信息等进行记录，实现物料、半成品、成品生产全物流环节的智能化运转。



图 7-4 同享电子智能物料配送

6.智能在线监测与质量优化

搭建云平台，对车间内所有运行设备的状态进行云数据管理和故障预警保护。MES系统按照产品、版本、工序等定义质检计划，实现对质量控制过程的精准管理。通过通讯协议，将车间三角分段焊带生产设备和双线原丝设备与MCGS触摸屏连接，经过边缘处理后将数据上传至平台，并进行不同维度的呈现。



敢于创新，敢于拼搏
实实在在工作，实实在在做人

同享光伏焊带整厂可视化显示屏

2023-06-19 08:48:59
温度、湿度: 32.2°C 65%

设备名称	设备状态	运行速度	预设米数	当前米数	轴数	产品规格
M73-B轴	开机	220	26500	7187	23	0.26
M74-A轴	开机	220	13850	779	85	0.32
M74-B轴	开机	220	13850	3699	88	0.32
M75-A轴	开机	220	26100	12850	149	0.26
M75-B轴	待机	0	0	0	0	0
M76-A轴	开机	220	26480	23049	185	0.26
M76-B轴	开机	220	26500	14760	192	0.26
M77-A轴	开机	220	12900	6077	175	0.32
M77-B轴	开机	220	13850	3675	22	0.32
M78-A轴	开机	220	25400	1424	46	0.26
M78-B轴	开机	220	25400	9464	167	0.26
M79-A轴	开机	220	13750	496	3	0.32

图 7-5 同享电子云平台智能在线监测与质量优化

(3) 实施效果

公司通过智能车间建设，研发周期缩短 30%以上，良品率由 98.5%提升至 99.7%，平均能耗降低了 10%左右。

典型案例 4：PPG 涂料（张家港）有限公司

（1）企业基本情况

PPG 涂料（张家港）有限公司隶属于 PPG 工业集团。PPG 工业集团是全球树脂涂料技术与生产应用的引领者，水性电泳漆是由 PPG 发明并首先推广市场应用的，市场占有率一直处于全行业的领先地位。目前世界涂料树脂生产领域，大多采用单一的反应釜合成工艺和大量的人工手动投料生产；PPG 通过组织全球生产和技术力量进行多年的技术攻关，创新的将树脂批次生产工艺进行连续化集成，将产品生产进行模块化标准管理，进而减少了水性树脂的过程消耗，将手动投料比例降到了 9%以下，极大地缩短了生产周期，生产效率和产品质量显著提高。



图 7-6 PPG 涂料生产中央控制室

（2）实施智改数转的主要做法

PPG 张家港工厂是 PPG 集团在中国乃至亚太地区重要的战略部署，是中国唯一的树脂生产基地，也是 PPG 集团目前全球最大的一体化生产制造基地，数据信息系统 ORACLE、QIM6、PLC 等全部应用于日常制程业务过程中，使得生产信息化技术覆盖了制造业务的全流程。生产过程通过使用 Rockwell 公司的核心处理集成技术、美国通用公司的控制信息交互平台系统对车间的所有设备的搅拌、输送泵、自动阀门、温度、压力、重量、液位等各自工况参数都进行了智能组网、智能自动分步化控制、标准化的配方工艺进行控制；结合 PPG 工业公司自有的双组分同步合成工艺技术、标准化的配方工艺、在线红外质量检测技术，从而减少了水性树脂合成过程的消耗，生产效率比同行提高了近 50%，人工投料比例降到了 5%，过程人工取样检测减少 30%，最大程度地减少了原辅料损耗、溶剂挥发；采取的溶剂循环利用技术，最大地减少了危废产生量，实现了节能、高效、环境友好的先进营运理念。

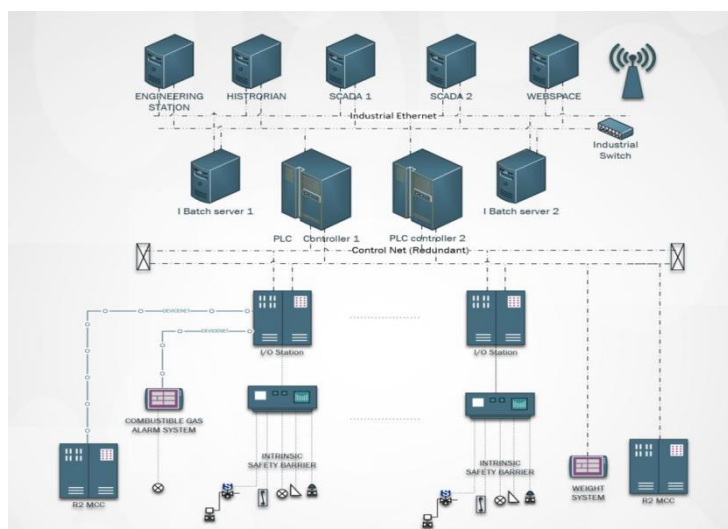


图 7-7 PPG 涂料车间与车间外部联动协同情况

(3) 实施效果

通过智能车间建设，进一步提升了工厂运营能力，产品一次合格率提升 3%，人均生产效率每年提高 5%，产品单位能耗每年减少 5%，危废强度每年减少 6%，每年直接营运费用减少约 400 万人民币。生产化学反应过程 PLC 程序自动化控制，减少了传统生产的人工操作干预的安全风险，提高了生产效率；中间产品质量检测的取样分析自动化，减少了人工取样分析与检测时间以及人员取样的安全风险；车间现场操作过程可视化，增加了安全管理监控措施，提升了安全操作可靠性；生产数据信息流在各专用数据库的传输交换，保障了工厂原料接收、生产制造、成品发运的有效信息实时更新，增加了各功能人员实时决策准确性，提升了营运效率。

典型案例 5：克劳丽化妆品股份有限公司

（1）企业基本情况

克劳丽化妆品股份有限公司（以下简称“克劳丽”）为江苏隆力奇生物科技股份有限公司子公司，成立于 2004 年 2 月 13 日，坐落于隆力奇生物科技园内。克劳丽从数字化产品研发、智能制造、质量体系到过程保障等全环节，将整个生产过程的质量控制做到极致。通过全面向数字化及移动化经营转型，完成对流程的全方位把控。

（2）实施智改数转的主要做法

目前克劳丽现场智能生产线占到总体设备的 90%，设备联网率超过 80%，现场管理实现信息管理平台化。新购设备要求统一接口的通讯功能为必须项，设备到厂后，可以快速接入信息化管理平台，对于少部分老设备，正逐步通过改造，加装各类传感器，实现生产信息数据采集。

通过引进 i-EMS（设备联网与智能物联管控系统），实现生产车间设备仪器的联网与集中管理、生产信息的自动采集与数据传输、设备运行状态及生产过程远程监控与自动控制。随着智能车间的建立，通过 ERP、PDM、MES、i-EMS 等系统的集成应用，在生产端，可以做到对配方、乳化工艺过程、灌装重量、贴标位置、批号的准确性格的精准控制。通过实时的温度传感器、

电子流量计、灌装重量反馈，批号影像检查系统，光纤漏装检测系统，对乳化、灌装、贴标、喷码、装箱全生产流程控制。



图 7-8 克劳丽香皂线智能化控制

各生产线中均配置有数据采集系统，PLC 逻辑控制器，电磁阀等装备，用于生产线实时自动反馈控制，每条生产线配有单独的控制系統，负责本条生产线的作业流程控制和数据收集、上传和下载。主要组成部件由柔性制胶生产线罐体、搅拌器、输送泵、控制阀、智能传感器、清洗系统、控制系统等组成。

通过与设备 PLC 采集通讯，实时了解设备、流水线的运作情况，如监测到生产设备发生异常，通过声、图形式提醒相关人员，加上对外围设备状态的检测以及数据库的对接，最终效果展示在现场大屏幕上。

（3）实施效果

通过整个智能工厂的建设工作，实现了在各个环节的人员优化与岗位的调整：在生产环节，由原有的每条产线 10 名员工，优化到 2 名员工，在过程质量检验环节，实现原有过程检验全面

检验模式，同时优化过程质量检验工位 2 人/产线；通过企业业务流的数字化打通，实现规模定制化能力后，原有的接单分析能力从 3 天提升到 1 天；通过过程智能化改造技术手段，产品节拍由原有 83 提升 96，效率提升 10%；结合工业视觉与自动化的整合能力，实现过程质量检验良率提升 2%；原有生产模式异常的处理流程由人工上报，定量定向分析组织等方式，转变为通过设备互联互通，数据共享模式，协同效率提升 30%；

从整体上来看，在公司运营成本层面效率提升 20%，费用降低 5%；在人员优化方面优化人员需求 10%，费用降低 3%；在协同效率方面有效拉通协作，产品流转率提升 40%；在产品质量管控方面，产量良率提升至 98.5%；在物流与库存方面，周转效率由 29 天，提升到 25 天。

典型案例 6：江苏佰家丽新材料科技有限公司

（1）企业基本情况

江苏佰家丽新材料科技有限公司始创于 2007 年，位于阳澄湖畔。公司专注于建筑声学材料的研发、设计、生产与销售，为客户提供声学产品应用的技术支持和专业的建声解决方案。公司自设立以来，以“佰家丽-让世界聆听美好生活”为使命，将研发创新作为发展的持续动力，一直致力于 PET 声学材料在建筑和办公领域的技术创新，成为“PET 声学材料”行业的引领者和推广者。

（2）实施智改数转的主要做法

公司于上线了金蝶系统，开通了财务模块，真正实现了会计电算化，上线了由钉钉定制的管理系统，覆盖人事管理、事务审批等。公司搭建了私有云并同时购置了阿里云，通过定制智能制造系统将公司的设计、生产、仓储、物流、客户、订单等核心的业务进行流程化、信息化智能化的管理，同时将此部署到云端，实现上云。

（3）实施效果

通过实施智改数转，为公司创造了良好的经济效益和社会效益，年产值增加 37%，产品不良率降低 17%，单位产值能耗降低 14%。

1.成本下降

公司通过企业上云，实现了移动设备、固定 PC 等可视化设备，实现了现场操作自动化，现场办公无纸化，现场管理透明化，降低了公司的管理成本。通过对仓库库位的信息定位，出入库系统操作，减少仓库库存呆滞，提升仓库周转效率，在降低库存的同时，盘活了现金流，也极大提高了场地的利用率。

2.数据可视化和经营管控能力增强

通过上云部署，将销售、研发、订单、生产、仓储以及客户供应链等等核心部门进行一体化的管理，实现了智能化和流程化，提高了生产的效率以及经营管控的能力，降低了公司的生产、管理的成本，使设备及生产调度可视化，仓库库存量降低，产品质量可追溯。

3.设备可视化

通过上云部署，通过生产及设备数据自动采集，监控设备完整运行数据、消耗程度等信息，通过分析数据反向优化设备组成和运行逻辑，降低了能源浪费，大幅度提升了设备运行效率，并通过设备耗能异常及时发现和识别设备故障。提高了工作的效率以及数据的安全性，使所需要的数据可视化，确保了重要数据的查找。



图 7-9 佰家丽新材生产管理模块界面

4. 节能减排

通过设备的联网，监控了设备完整运行数据、消耗程度等信息，通过数据分析，降低了 20%-30% 的能源浪费，大幅度提升了设备运行效率，并通过设备耗能异常及时发现和识别设备故障。

5. 生产效率提升

通过流程式生产，缩短各个部门之间流转节拍，使得总体订单下发到生产时间缩短 40%。通过数字化生产报工，精准记录产品生产数据，减少计划调动情况，交货周期缩短，极大的提升了客户满意度。

典型案例 7：江苏亨通光电股份有限公司

（1）企业基本情况

江苏亨通光电股份有限公司于 2003 年 8 月在上海证券交易所挂牌上市（600487）。亨通光电在苏州设立两个产业园及在沈阳、成都、北京、上海、广东设立生产研发基地，下属有 16 个控股子公司，在俄罗斯、中东、南非、南美、东南亚等 20 多个国家和地区设立营销和技术服务机构，基本形成全球营销服务网络构架，成为全球线缆主力供应商。亨通光电获评工信部工业互联网试点示范项目，江苏省智能工厂、示范智能车间、重点工业互联网平台、五星级上云企业等荣誉。

（2）实施智改数转的主要做法

1.形成了亨通特色的智能制造新模式。开发应用光缆智能化生产装备、建立人工智能物联网，实现业务的开发运维全流程的自动化。从传统的智能装备到基于工业互联网的整体应用场景，亨通光电依托先进的 MES 系统，协同 SRM、CRM、SAP、OA 等管理系统，利用 5G、工业以太网等方式，支撑数据抓取，实现客户信息、订单信息、生产过程信息、设备运行状态、来料批次信息等数据的点、链、网实时追溯。后台利用大数据分析算法进行推理预测、预警分析，提供决策方向。



图 7-10 亨通光电智能制造新模式

2.搭建生产制造实时可视化平台。建立产品全生命周期信息流，以 CRM 系统满足全球客户需求收集，IPD 导入和 PLM 实现个性化定制，SRM 产业链协同（订单、生产过程、采购交付、质量、BTB 客户交付协同），APS/MES 满足个性化/规模化（柔性）生产。实现生产制造集中控制平台可视化、生产制造实时可视化、生产制造执行过程管理可视化、生产能源管理可视化。



图 7-11 亨通光电智能化集控中心

3.光视觉在线监测。实现智能模型建立及工业大数据分析，

生产视觉识别，运用图像识别等人工智能相关算法，对生产过程中产品状态、质量进行分析判断、监控预警，如扎纱节距识别、光缆表面缺陷识别等，从而提高生产效率、产品质量。成缆工序在原绞合设备上增加了节距在线监测及控制系统，解决高速100m/min 速度下节距测量问题，通过将包括扎纱长度、扎纱张力控制、段长、节距在线调整等实现成缆参数的集成控制，通过张力、节距等重要工艺的参数控制实现光缆附加衰减的有效控制。



图 7-12 亨通光电生产基地可视化

(3) 实施效果

通过实施智改数转网联，公司生产效率提高 12%，运营成本降低 15%，产品研制周期缩短 30%，产品不良率降低 25%，能源利用率提高 10.3%。

典型案例 8：中亿丰罗普斯金属材料科技股份有限公司

（1）企业基本情况

中亿丰罗普斯金属材料科技股份有限公司是国内建筑铝型材细分领域标杆企业、全国最大的建筑铝合金挤压型材制造商之一。公司主要产品包括铝合金挤压型材、氧化型材、喷涂型材、绿色节能型材等，广泛应用于建筑、汽车、光伏太阳能、轨道交通、机械化工、电子电器等领域。

（2）实施智改数转的主要做法

公司将工业互联网与企业信息化、云计算、大数据处理、人工智能和 5G 等技术深度融合，全面推进业务管理创新和流程优化，以全渠道接单、智能计划、执行和控制为手段，构建以企业资源配置最优化为目的的管理体系，打造智能工厂。

1.供应链协同。打造客户协同平台，链接京东旗舰店，布局线下导购系统，通过营销推广、商品销售和服务互动，构建线上线下多渠道的营销新模式；以 PLM 为核心，建立产品、工艺和质量的标准库，收集客户个性化需求，以参数化设计快速应对客户定制化需求，同时对接工厂运营系统，实现设计与制造的协同。

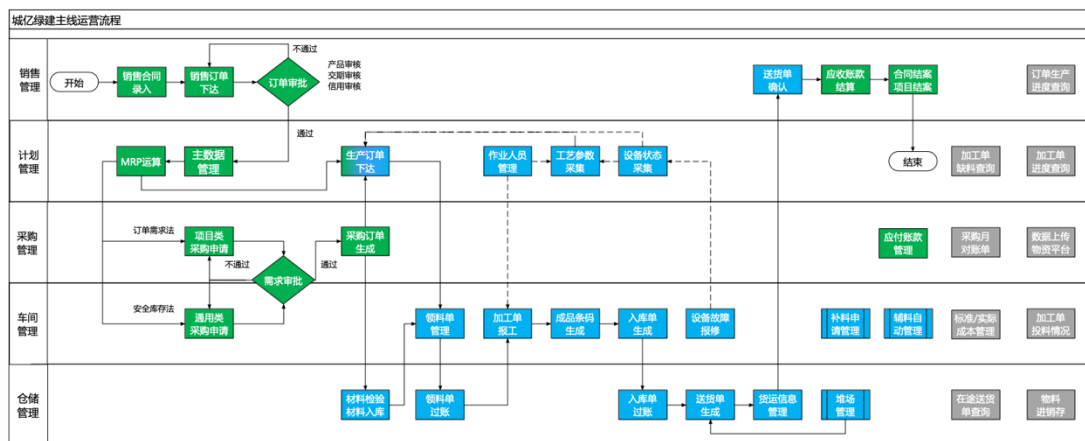


图 7-13 中亿丰罗普斯金运营主线流程

2.工厂数字化提升。构建以 SAP PI 企业数据总线为桥梁的集成云平台，将自研的 MES 系统与基于 5G 技术的数采平台结合，实现生产数据采集、分析和管控的自动化，同时将制造执行数据反馈至 ERP、APS、PLM 等系统，实现生产数据的工厂内、外协同；通过数字孪生平台建设、运营数据与场景数据互动，实现工厂透明化和数字化管理。

3.新技术应用。打造 5G+工业安防、5G+移动生产管理系统、5G+数据采集、5G+AR 巡检、5G+远程控制等应用场景；应用工业物联网技术搭建数据采集网络与平台，实现设备层的网络组态，确保设备层工艺参数、运行状态等数据的实时抽取、处理、转存与汇总；运用数字孪生技术，开展设备故障诊断、预测预警、远程控制等新模式应用，提升设备自感知、自诊断、自决策、自执行能力。



图 7-14 中亿丰罗普斯金 5G+数字孪生系统

(3) 实施效果

通过智能工厂建设，公司核心设备故障率下降 8%，客户订单处理效率提高 60%，订单齐套率上升为 88%，订单及时交付率提高 16%。

典型案例 9：江苏国望高科纤维有限公司

（1）企业基本情况

江苏国望高科纤维有限公司是一家主攻差别化功能性纤维研发、生产与销售的高新技术企业，主要产品有涤纶低弹丝、全消光纤维、阳离子纤维等，国内市场占有率居第一，是国内差别化化学纤维领域的骨干龙头企业。



图 7-15 国望高科纤维有限公司工厂

（2）实施智改数转的主要做法

公司通过 MES、SAP、APS、WMS 等系统的建设及全流程信息集成，打造高度自动化、柔性化、数字化、可视化的化纤生产智能工厂。



图 7-16 国望高科智改数转图

1.智能装备应用方面，装备国内外先进智能设备，利用 PLC、机器视觉等技术，实现产品从熔体输送、纺丝、加弹、检测、物流、包装等全流程的自动化和智能化。

2.计划调度方面，客户通过化纤汇平台下订单后，APS 通过工厂排程运算，生成工序生产计划，利用 AI 智能算法、寻优算法等技术，快速根据车间机台数量、人员、生产线排产状况等因素，制定最佳生产作业计划，并上传至 MES，下发到设备，通过可视化大屏，实时展示车间生产计划与进度，实现柔性排产。

3.生产作业与信息追溯方面，通过智能传感技术对关键工艺参数、设备运行数据等进行动态监测，上传至 MES 进行在线分析，实现对生产全过程的数字化管控，并通过大屏进行实时可视化展示。MES 将生产过程中的原料批次、设备、工艺、质量等进

行全流程记录，并与丝锭二维码绑定，将实时信息上传至工业码云平台，实现产品信息从原材料采购、生产、物流、销售、售后等全链路的共享追溯。

4.智能仓储方面，根据 APS 下达的生产任务，将所需辅材规格、批次发送至 WMS 系统，经 PDA 扫码出库，实现生产物料的精准出库。成品通过自动包装线进行自动包装、裹膜、封箱后，经 WMS 系统入库，入库信息同步到 CRM 系统进行订单出库，实现产品出、入库的智能管控。

5.设备管理方面，通过设备管理系统，利用智能传感技术，实现设备运行状态的在线监测，以及设备台账、保养、检维修等的数字化管理。

6.能源管控方面，搭建能源管理系统，对水、电、气等重点能耗进行集中动态监测，建立可视化看板。通过环安管理系统，建立废水、废气、废固排放分析模型，对废弃物排放进行分析及预测预警，实现能源闭环管理。

（3）实施效果

公司通过实施智改数转网联项目，实现了从客户、销售、计划、生产、质量、包装、物流等各环节的高效协同，有效解决了小批量、多品种模式带来的准时交货率和生产效率低下、研发周期和库存周转期过长等问题，产品不良品率降低 1%，库存周转率提高 8%，生产效率提升 10%，综合能耗降低 10%。

典型案例 10：苏州德佑新材料科技股份有限公司

（1）企业基本情况

苏州德佑新材料科技股份有限公司是一家专业研发、生产、销售柔性功能性高分子材料（光电薄膜胶带）的高新技术企业，产品主要用于手机、平板等高端消费电子产品。公司通过实施智改数转网联，对生产工序进行数字化改造，持续提升产品竞争力。

（2）实施智改数转的主要做法

1. 智能装备全面应用

引进 2 条涂布自动化生产线以及配套 PLC 控制系统，并与 RTO（蓄热式氧化炉）设备连接，智能化设备比率达 100%。使用 ERP 系统、RTO 设备远程管理虚拟平台、MES 系统、电力能耗监控系统、条码系统和数据管理平台等工业软件，实现工艺和质量的智能控制。



图 7-17 德佑新材智能装备应用系统截图

2. 生产物料精准配送

采用自动翻转机，在仓储各环节通过 ERP 库位管理及条码系统实现无线数据库的采集与更新，实现仓储的动态化、可视化管理，提高仓库管理的工作效率。通过 ERP 系统生成原材料采购作业计划，实时拉动物料精准配送，通过自动上胶系统进行上料，实现涂布生产线各工艺步骤物料流转的全面自动化。



图 7-18 德佑新材自动翻转机

3.生产过程实时管控

车间配套中央控制系统，可实时直观或远程查看生产状态、工艺参数等变动状态，并实现故障自动报警、超高温自动断电等功能。通过 Workstation 实现 RTO 设备的远程控制，以及生产过程的云端管理、监控和决策优化。

4.生产信息跟踪追溯

车间全流程使用条码系统，通过扫码枪实时记录产品信息，实现产品生产日期、工艺流程、工艺参数的记录、跟踪、追溯。通过在机测量和智能修正技术，实时检测涂布生产线的各项工艺参数，进行偏差纠正，实现制造检测一体化，提升生产过程的稳定性和高效性。

5.能源消耗智能管控

车间采用智能电表及电力能耗监控系统，直观反映用电数据，掌握能耗情况及异常值，并形成警告事项。通过 RTO 对车间废气处理过程中产生的余热循环利用，提高能源利用效率。

(3) 实施效果

公司通过智能车间建设，生产成本降低 58%，生产效率提高 50%，不良品率降低至 1%。

附件 4 服务商清单

服务商清单

表 7-7 服务商清单

序	环节/场景	服务商名称	所在地	主营产品
1	产品研发	鸿之微科技	上海	Device Studio (材料
2		东软集团	沈阳	UniMax 材料大数据
3		深势科技	北京	Uni-Materials (AI 驱
4	工艺设计	安世亚太	北京	APRO 工艺仿真系统
5		中望软件	广州	中望仿真
6	计划调度	安达发	深圳	安达发 APS
7		蓝卓	杭州	supOS 工业操作系统
8	生产作业	用友网络	北京	用友 U9 cloud (含
9		浙江中控	杭州	APC 先进控制系统
10		和利时	北京	HolliAS 生产自动化
11		树根互联	广州	根云平台

12	仓储配送	旷视科技	北京	智能四向车系统、河
13		山东汉鑫科技	烟台	HiMOM 生产运营管
14		富勒信息科技	上海	WMS (仓储管理系
15		艾乐博机器人	佛山	智能仓储系统
16	质量管理	凌云光技术	苏州	FLEX 系列智能检测
17		大恒图像	北京	大恒图像
18		帆软软件	无锡	FineBI+FineReport
19	设备管理	容知日新	合肥	设备智能运维平台
20		东华测试	泰州	DH5900 系列在线监
21	能源管理	汇川技术	深圳	InoCube-FEMS 数字
22		中鑫新能源	苏州	综合智慧能源解决方
23	环保管理	应辉环境	北京	DMEP 数字员工 +
24		碧水源	北京	水处理数字化监控系
25		甄云科技	上海	数字化采购管理平台

26	供应链管	数商云	广州	全链路供应链协同管
27	网络建设	江苏移动	江苏	网络建设
28		江苏电信	江苏	网络建设
29		江苏联通	江苏	网络建设

附件 5 技术缩略语

技术缩略语

表 7-8 技术缩略语

序号	缩略语	全称	释义
1	AGV	自动导引车 (Automated Guided Vehicle)	一种自动化的物料搬运设备，能够在仓库和生产现场实现物料的自动运输。
2	AI	人工智能 (Artificial Intelligence)	模拟人类智能的技术，用于实现自动化决策、数据分析和智能控制。
3	APC	先进控制系统 (Advanced Process Control)	基于模型的多变量预测控制技术，用于处理复杂工业过程控制问题，优化工艺操作。
4	APS	高级计划排程系统 (Advanced Planning and Scheduling)	用于优化生产计划和调度的系统，通过算法实现资源的高效利用和生产效率提升。
5	AR	增强现实 (Augmented Reality)	将虚拟信息与现实世界相结合的技术，用于辅助操作和提升工作效率。

6	BI	商业智能 (Business Intelligence)	用于数据分析和报告的工具，帮助企业从数据中提取有价值的信息，支持决策。
7	CAD	计算机辅助设计 (Computer-Aided Design)	利用计算机技术进行产品设计和绘图的工具软件，用于提高设计效率和准确性。
8	CAE	计算机辅助工程 (Computer-Aided Engineering)	通过计算机模拟和分析技术对工程设计进行优化和验证，包括结构分析、流体动力学等。
9	CAM	计算机辅助制造 (Computer-Aided Manufacturing)	利用计算机技术辅助生产制造过程，包括数控编程、加工仿真等。
10	CAPP	计算机辅助工艺规划 (Computer-Aided Process Planning)	基于计算机技术对生产制造过程中的工艺流程进行规划和优化。
11	CMMS	设备维护管理系统 (Computerized Maintenance Management System)	用于管理设备维护活动的系统，包括故障记录、维修计划和设备状态监控等。

12	CRM	客户关系管理 (Customer Relationship Management)	用于管理企业与客户关系的系统，包括客户信息、销售机会和客户服务等。
13	DCS	分布式控制系统 (Distributed Control System)	用于监控和控制工业生产过程的自动化系统，由分布在工厂各位置的控制单元和计算机组成。
14	EAM/AMS	企业资产管理系统/ 资产维护系统 (Enterprise Asset Management/Asset Maintenance System)	用于管理企业资产全生命周期的系统，包括设备、设施等的维护和管理。
15	EHM	设备健康管理 (Equipment Health Management)	通过监测设备运行状态，实现设备故障的早期预警和健康管理。
16	EHS	环境、职业健康安全管理体系 (Environment, Health and Safety)	用于管理企业环境、健康和安 全事务的系统，确保企业运营符合相关法规和标准。

		Management System)	
17	EMS	能源管理系统 (Energy Management System)	用于监控和优化企业能源消耗的系统，通过数据分析实现节能降耗。
18	ERP	企业资源计划 (Enterprise Resource Planning)	用于整合企业内部各部门数据和流程的信息系统，实现信息共享和协同工作。
19	IoT	物联网 (Internet of Things)	通过互联网将各种设备和物体连接起来，实现智能化管理和控制。
20	MES	制造执行系统 (Manufacturing Execution System)	连接企业计划层和控制层的桥梁，用于生产过程的实时监控、数据采集和分析。
21	MODBUS	一种工业通信协议 (Modbus Protocol)	一种广泛应用于工业自动化领域的通信协议，用于设备之间的数据交互和控制。
22	NB-IoT	窄带物联网 (Narrowband Internet of Things)	一种低功耗广域网技术，适用于物联网设备的低速率、长距离通信。

23	OPC	开放平台通信 (Open Platform Communications)	一种工业通信标准，用于实现不同设备和系统之间的数据交换和集成。
24	PCS	过程控制系统 (Process Control System)	用于监控和控制工业生产过程的自动化系统，确保生产过程的稳定性和产品质量。
25	PLC	可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller)	用于工业自动化控制的设备，能够根据预设程序控制机械设备的运行。
26	PLM	产品生命周期管理 (Product Lifecycle Management)	一种集成的信息系统，用于管理产品从概念设计到退市的全生命周期信息和流程。
27	PON	无源光网络 (Passive Optical Network)	一种基于光纤的网络技术，用于实现高效的数据传输和网络覆盖，常用于工业互联网。
28	QMS	质量管理体系 (Quality Management System)	用于管理企业质量活动的信息系统，包括质量计划、控制、检验和分析等功能。

29	RFID	无线射频识别 (Radio Frequency Identification)	一种非接触式自动识别技术，通过无线电波实现数据的读写和传输。
30	SCADA	数据采集与监视控制系统 (Supervisory Control and Data Acquisition)	广泛应用于工业环境的自动化控制系统，用于实时数据采集、远程监控与控制。
31	SCM	供应链管理 (Supply Chain Management)	用于管理企业供应链的系统，包括采购、生产、物流和销售等环节的协同优化。
32	SPC	统计过程控制 (Statistical Process Control)	通过统计方法监控生产过程的质量，及时发现和纠正质量问题。
33	TCP/IP	传输控制协议/互联网协议 (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)	用于计算机网络通信的基础协议，确保数据的可靠传输和网络互联。

34	TMS	运输管理系统 (Transportation Management System)	用于优化物流运输的系统，包括运输计划、调度和路径优化等。
35	TSN	时间敏感网络 (Time-Sensitive Networking)	一种支持低延迟、高精度数据传输的网络技术，适用于工业自动化和实时控制场景。
36	VR	虚拟现实 (Virtual Reality)	通过计算机生成的虚拟环境，为用户提供沉浸式的体验，常用于培训和设计验证。
37	WCS	仓储控制系统 (Warehouse Control System)	用于控制仓库设备运行的系统，与 WMS 协同实现仓储自动化管理。
38	WMS	仓库管理系统 (Warehouse Management System)	用于优化仓库操作的技术系统，包括收货、存储、拣选、发货等流程。