

江苏省制造业智改数转网联 氢燃料电池汽车行业实施指南

江苏省工业和信息化厅
二〇二五年

目 录

一、背景与现状

1.1 指南范围

1.2 行业概述

1.3 行业智改数转网联现状

二、目标与架构

2.1 总体目标

2.2 实施架构

三、基础能力

3.1 网络基础设施能力建设

3.2 网络标识解析体系建设

3.3 数据采集能力建设

3.4 信息系统能力建设

3.5 信息安全能力建设

四、环节与场景

4.1 产品全生命周期

4.2 生产全过程

4.3 供应链全环节

五、路径与方法

5.1 实施路径

5.2 相关政策

六、愿景与展望

附件

附件 1：人工智能典型应用场景

附件 2：投入改造清单及图谱

附件 3：典型案例

附件 4：服务商目录

附件 5：技术缩略语

附件 6：江苏省制造业“智改数转网联”典型场景参考指引

一、背景与现状

1.1 指南范围

氢燃料电池汽车作为一种“零排放，无污染”的载运工具，其工作原理是以氢气为能源，通过氢与氧的化学反应在燃料电池电堆中产生电能，从而驱动电动机带动车辆行驶。与纯电动汽车相比，氢燃料电池汽车在补能速度、续航里程方面具有优势；与传统燃油汽车相比，氢燃料电池车具有节能减排的属性，被视为 21 世纪最具发展潜力的清洁能源汽车。氢燃料电池汽车的推广应用，对构建清洁低碳安全高效的能源体系，实现碳达峰碳中和战略目标都具有重要意义。

氢燃料电池汽车是我国新能源汽车“三纵三横”重要技术路线之一，也是江苏“1650”产业体系重点打造的 50 条重点产业链之一。如图 1 所示，氢燃料电池汽车产业链上游主要包括从事氢气制备、储存、运输和加注等过程的相关企业，中游包括氢燃料电池系统及燃料电池电堆、膜电极、质子交换膜、双极板、空压机、催化剂等关键零部件企业，下游主要是氢燃料电池汽车整车集成、氢能装备及检验检测等相关企业。

本指南主要面向氢燃料电池汽车产业链中游环节，兼顾下游燃料电池汽车整车企业，既适用于具有良好自动化、信息化基础的行业头部和骨干企业，也适用于数字化基础较薄弱，但有进一步改造提升需求的成长型、初创型企业，旨在为全省氢燃料电池汽车企业智改数转网联应用提供实施方法与路径参考。

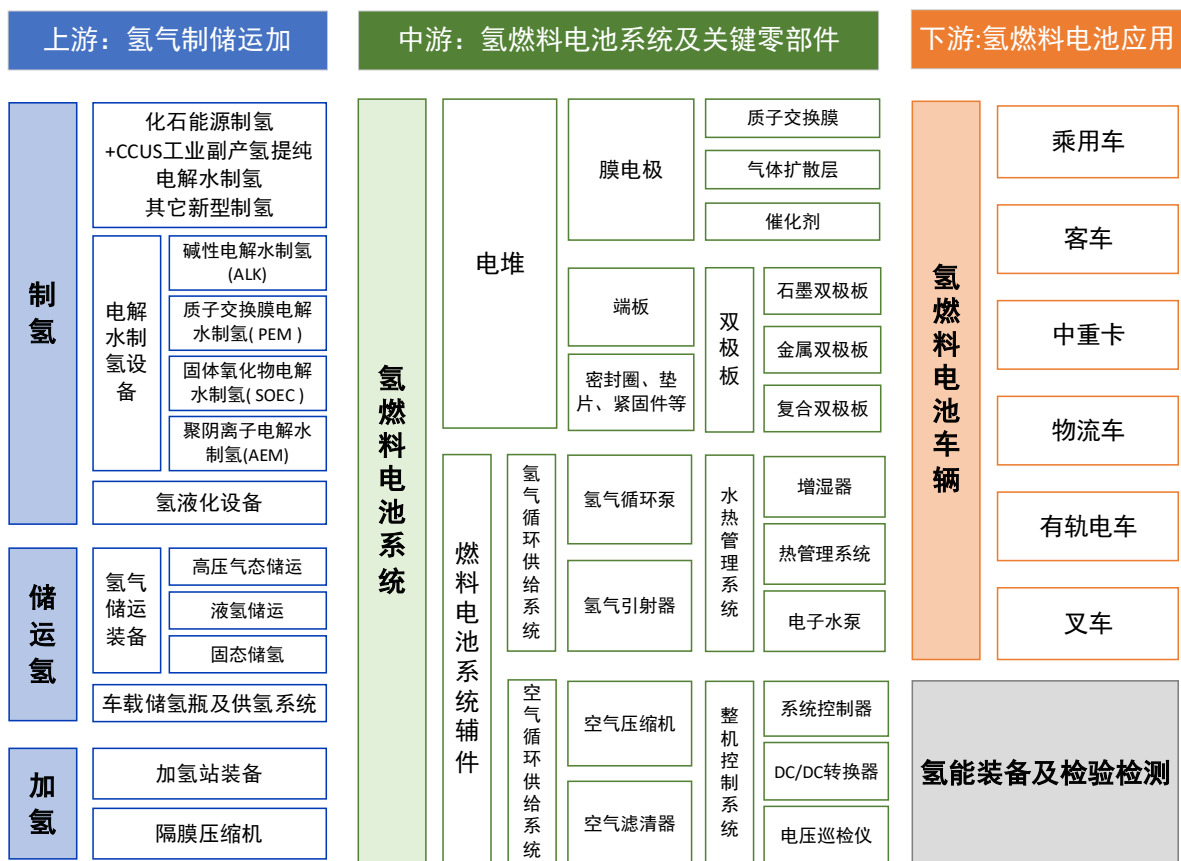


图 1 氢燃料电池汽车产业链

1.2 行业概述

(1) 全国行业发展概况

氢燃料电池汽车是顺应全球能源绿色转型趋势，实现“双碳”目标的主要路径，世界各汽车强国均已将氢燃料电池汽车作为汽车产业升级、社会节能降耗的重要方向。我国高度重视氢能及燃料电池汽车产业的发展，2024年11月，全国人大审议通过《中华人民共和国能源法》，正式将氢能纳入能源管理体系，我国氢燃料电池汽车产业发展也迎来了由政策引导向市场放量的关键时期。2024年前三季度，我国氢燃料电池汽车销量为4133辆，同比增长44%，我国氢燃料电池汽车保有量已接近

2 万辆；在氢能供应方面，截至 2024 年 10 月，我国已建成加氢站超过 500 座，数量位居全球首位，五大城市群已形成氢气产能超过每年 15 万吨，初步构建了涵盖制备、储运、加注等环节的氢能供给体系。

未来，氢燃料电池汽车领域技术创新将加速推进。一方面，燃料电池系统功率密度、能量转换效率、使用寿命和可靠性等关键性能指标将不断优化；另一方面，随着智能化、数字化技术的推广和应用，燃料电池及零部件企业的制造成本有望大幅下降，进一步提升市场竞争力。此外，随着加氢站等基础设施的逐步完善，氢燃料电池汽车市场规模将加速扩张，预计到 2035 年，我国氢燃料电池汽车保有量将达到 100 万辆。

（2）我省行业发展概况

2019 年，江苏在全国率先出台《江苏省氢燃料电池汽车产业发展行动规划》，是较早布局和推动氢燃料电池汽车产业发展的省份之一。目前全省已集聚氢能及燃料电池汽车相关企业超 300 家，企业占全国总数量的 8.5%，位居全国第二。

江苏省氢资源较为丰富，以灰氢为主。主要包括化石能源制氢和工业副产氢，金陵石化、华昌化工等企业依托成熟的煤制氢装置和技术制取氢气；扬子石化、中海油气（泰州）石化等企业通过天然气制氢。可再生能源制氢方面，苏州竞立、天合氢能等企业在电解水制绿氢方面具有技术优势。受制于成本，目前我省可再生能源制氢场景及应用项目较少。

江苏省工业产业基础雄厚，在制造业领域的积累有力支持了氢燃料电池汽车产业的发展。在燃料电池系统及关键组件方面，我省拥有重塑科技、擎动科技等燃料电池相关生产商，主营产品覆盖电堆、系统、质子交换膜、膜电极等方面。泛亚微透、源氢新能源成为燃料电池隔膜领军企业；翊迈的燃料电池堆双极板技术国内领先。南通百应能源掌握了从膜电极、电堆、系统到整车匹配的全产业链核心技术，多款燃料电池系统通过国家检测认证。燃料电池辅助系统方面，势加透博研发生产的燃料电池无油离心空压机，目前市场占有率超过 60%。华清京昆完成国内首套固体氧化物燃料电池热电联供系统的下线，实现了国内固体氧化物燃料电池商业化应用零的突破。

江苏省积极开展氢燃料电池汽车相关试点示范，致力通过示范运行，联合省内产业链相关企业，加快完善江苏省氢燃料电池汽车产业集群，推动整个产业链的持续快速发展。目前我省拥有苏州金龙、上汽大通、开沃汽车、徐工汽车等燃料电池汽车整车生产企业。为了配套示范运行，加氢设施建设也取得快速进展。省内苏州市、南通市、盐城市、无锡市等地率先开展氢能产业示范应用，加氢设施布局已初步形成。截至目前，我省已建加氢站 28 座，全省累计投放氢燃料电池汽车达 400 余辆。为我省氢燃料电池汽车整车生产及示范推广提供了保障。

1.3 行业智改数转网联现状

江苏省氢燃料电池汽车行业的数字化转型正加速推进，政

策引导与市场需求的叠加效应成为核心驱动力。自 2022 年江苏省启动制造业智能化改造数字化转型三年行动计划以来，全省累计完成 4.1 万家企业的免费诊断服务，实施改造项目 5 万个，其中实施“5G+工业互联网”内网改造项目 1400 余个，并培育出 8 家国家级数字领航企业和 32 家智能制造示范工厂，为我省氢燃料电池汽车产业智改数转网联提供了标杆示范。

为充分了解省内氢燃料电池汽车行业智改数转网联发展情况，选取省内氢燃料电池汽车行业“筑峰强链”重点企业、省级及以上智能制造示范工厂和示范车间、省级及以上“专精特新”企业、省级及以上星级上云企业等共计 23 家单位开展调研。从产业链分布来看，调研对象企业包括制储运加氢相关企业 4 家、燃料电池系统及关键零部件相关企业 13 家、氢燃料电池汽车整车集成相关企业 3 家以及氢能装备制造及检验检测相关企业 3 家，企业规模从 20 人以下到 1000 人以上不等，覆盖省内氢燃料电池汽车头部企业、规上企业、成长型企业和初创企业等。

根据调研数据，我省氢燃料电池汽车行业智改数转网联现状呈现以下特征：一是组织架构正逐步完善。65.22%的受访企业设有专门信息化或数字化部门，其中 30%的企业由“一把手”直接统筹，反映出企业对数字化转型的重视。二是转型进程多处于初级阶段。受访的多数企业仍处于智改数转网联的“单元实践”或“探索起步”阶段，仅少数企业实现“全面转型”或“转型引领”，全流程整合与数字化能力输出不足。三是软件

应用基础分化明显。受访企业中，ERP与OA系统普及率较高，接近90%，但MES、PLM系统使用率不足半数，WMS等生产管理类系统渗透率较低，APS、QMS等专业系统应用率在30%以下，生产调度与质量管控能力亟待提升，仅13.04%的企业拥有首版次软件。四是云与工业互联网应用不均衡。所有受访企业均在使用云平台，但以公有云为主，混合云、私有云占比较低（不足30%），工业互联网平台使用率小于50%。五是设备联网与数据应用潜力有待进一步释放。94%的受访企业设备具备联网条件，但联网率普遍不足（仅4.35%全联网）；30.43%的企业能够使用DNC/SCADA等高级系统进行数据采集，但仅17.39%的企业实现数据挖掘与系统集成，部分企业仍存在“哑设备”占比过高导致数据孤岛问题。

此外，企业数字化转型的落地场景也呈现差异化特征。以生产制造、产品研发与供应链管理三大核心环节为例，在生产过程环节，企业重点布局生产计划优化（占比56.52%）、在线运行监测（占比52.17%）和精益生产管理（占比43.48%）等场景，体现出对效率提升的重视；工艺动态优化、质量优化及设备预测性维护（占比39.13%）等场景得到初步应用，但智能协同作业、人机协同制造等场景渗透率低，生产协同性与柔性化等场景亟待突破。在产品生命周期环节，52.17%的企业实现产品数字化研发设计，虚拟试验调试与远程运维（占比34.78%）形成辅助支撑，但数据驱动设计优化和预测性维护等场景应用

仍显不足，全生命周期数据闭环尚未打通。在供应链环节，供应链计划协同优化（占比 56.52%）和供应商数字化管理（占比 43.48%）场景是企业的主要发力点，但智能配送（占比 4.35%）、风险预警等场景应用率极低，且仍有部分企业尚未开展供应链数字化改造，供应链韧性、敏捷性存在明显短板。

在企业智改数转网联实施成效方面，根据调研结果，52.17%的企业通过智能化和数字化改造实现了生产运营成本的下降（头部企业平均降幅超 20%），21.74%的企业实现了利润增长，体现了数字化转型对企业降本增效的直接驱动作用；39.13%的企业产品不良率下降，产品质量与能耗管控能力增强，凸显智能化改造对生产精度与绿色化水平的提升；69.57%的企业通过供应链计划优化与协同创新等手段不断提升企业的管理决策能力。无锡威孚高科集团通过工艺参数数字化优化，实现产品加工能耗降低 41%；苏州瑞驱电动通过虚拟试验平台将产品调试周期压缩 40%，江苏科润膜材料通过引入 WMS 系统提升仓储效率 25%；金龙汽车通过动态优化供应链将交付周期缩短 15%；上汽大通南京分公司通过数字化改造实现利润提升 15%。

从调研结果来看，目前我省多数氢燃料电池汽车产业链企业实施智改数转网联转型的成效不及预期，部分企业在转型过程中往往只针对研发设计或生产制造中的单个环节进行数字化、智能化改造，而忽视了企业内部的“互联互通”，存在“为了场景而场景”的现象；另一方面，单纯依靠工具软件服务商并

不能完全解决企业内部智改数转网联的核心问题，除了企业现有的供应商之外，还应不断加强与高校、科研院所之间的产学研合作创新，促进行业公共服务平台建设，打造行业的示范工程，以示范推动整个行业的赋能转型。

二、目标与架构

2.1 总体目标

智能化改造、数字化转型和网络化联接是过程、是手段，针对我省氢燃料电池汽车行业现状，智改数转网联的总体目标是：基于新一代信息技术和先进制造技术，以氢燃料电池系统及关键零部件研发和制造流程为实施载体，以数字化贯通产品全生命周期和全制造过程，以关键制造环节智能化为核心，以工业互联网为支撑，通过流程再造、业务优化、智能装备、智能管控、过程透明的集成应用，构建设计制造一体化、产供销协同一体化、运管维综合一体化的新模式、新业态，缩短研发周期、提高生产效率、降低运营成本、提升产品质量、减少资源消耗，打造我省氢燃料电池汽车行业数据驱动、智能生产新模式。

2.2 实施架构

氢燃料电池系统是氢燃料电池汽车的核心部件之一，关系着整车运行的安全性，对燃料电池汽车是否具备成熟、可靠的性能表现具有重要影响。通常燃料电池系统由燃料电池电堆和其他辅助子系统（BOP）构成，其中电堆成本约占燃料电池系

统的 55%，是燃料电池系统的动力来源，对燃料电池系统的关键性能和成本具有较大的影响。电堆的主要构成包括膜电极、双极板、端板等，其中膜电极又可以分为催化剂、扩散层、质子交换膜等。氢燃料电池产品相关的科学问题包括电化学、动力学、热力学、稳定性、耦合效应等多个方面，其模型也是一个多空间尺度、多时间维度的复杂问题。氢燃料电池的制造过程涉及多种复杂的物理和化学过程，并追求产品性能的一致性。所以，无论是产品研发还是产品制造，氢燃料电池都需要高度的智能化和数字化能力的支撑。

伴随氢燃料电池汽车产业加速发展，在国际标准方面，IEC 已发布 22 项标准；在国内标准方面，我国已围绕氢燃料电池汽车发布 168 项国家标准、行业标准和团体标准（包括安全与管理、氢基础、氢加注、关键零部件、氢燃料电池整车等）。但氢燃料电池汽车的零部件安全及测评方法、整车碰撞、氢系统技术条件以及装备制造等领域的相关标准仍然欠缺，在涉及氢能基础设施安全方面，特别是加氢站的相关标准和规范存在内容参差不齐，个别条文的可操作性不强，技术标准不统一等现象，制约着氢燃料电池汽车全产业链条的高质量可持续发展。

本指南基于氢燃料电池汽车相关产品研发和制造的复杂性、氢燃料电池汽车行业标准的要求，同时也充分参考《国家智能制造标准体系建设指南（2021）》要求（系统架构、基础共性、关键技术、行业应用标准），设计了如下图所示的氢燃料电池

汽车行业智改数转网联系统架构，覆盖氢燃料电池产品研发与设计、生产加工与制造、虚实融合试验验证、装备运维与保障等全生命周期价值链，引导氢燃料电池汽车企业在基础共性、关键环节智能化改造、数字化管理等多个关键领域持续升级。

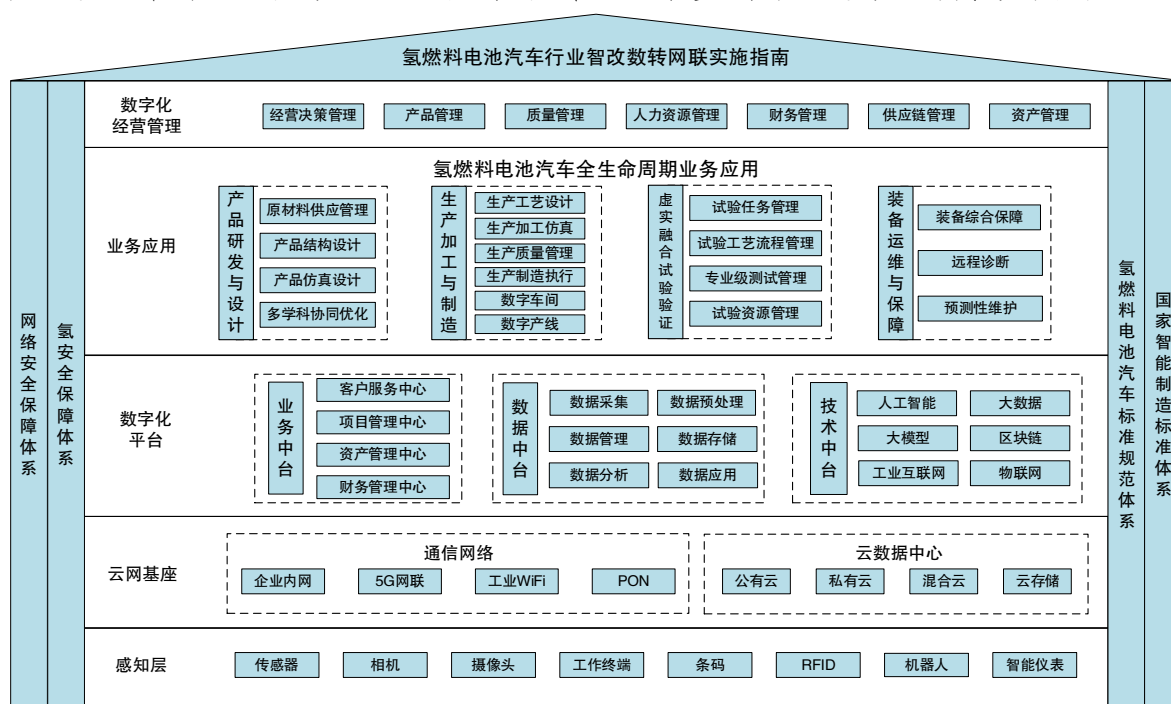


图2 氢燃料电池汽车行业智改数转网联实施架构

氢燃料电池汽车行业智改数转网联实施架构总体上采取叠加的设计思路。即在现有制造体系的基础上，通过运用5G、物联网、云计算、大数据、人工智能、区块链等技术，构建工业互联网网络、平台、安全系统，开展与现有各类制造系统的集成交互，形成更强的数据采集、集成管理、建模分析和智能决策能力，以满足氢燃料电池汽车行业平台化设计、智能化生产、数字化管理、网络化协同、服务化延伸五大类数字化转型应用场景。实现对现有业务的更加精准高效决策、动态优化，并不断发掘新的应用模式和业务形态，创造新的价值增长点。

实施架构围绕“网络是基础、标识是纽带、数据是核心、平台是中枢、安全是保障”总体分为感知、云网数字基座、数字化平台、业务应用、数字化经营管理五个层级。其中，感知层主要面向行业数据建模分析、生产环节协同优化、产品设备远程运维等需求，通过广泛部署感知终端，提升对全要素、全产业链、全价值链的状态感知能力；云网数字基座主要包括 5G 网络、物联网、云计算等；数字化中台负责打通前台需求与后台资源的连接，提供数据能力和产品技术能力，为前台业务开展提供底层的技术、数据资源和技术能力支撑，快速响应用户需求；在平台之上根据企业性质构建产品研发、制造、试验、运维等各类业务应用，主要面向越来越复杂的生产过程优化需求以及更精准的供应链管控需要，基于人工智能、大数据等技术，对数据价值进行深入挖掘，提升动态优化能力；最终通过新一代信息技术与企业原有信息化自动化系统进行深度融合，在企业内部打通各工序、各业务系统，实现企业智能化和数字化经营管理，提升智能决策能力、全流程运营效率和全产业链供应链协同能力。

三、基础能力

3.1 网络基础设施能力建设

网络基础设施能力建设主要包括企业内网和企业外网能力建设。典型技术包括现场总线、工业以太网等传统技术以及 TSN、确定性网络、5G 等新技术。企业内网用于连接工厂内人

员、机器、材料、环境、应用系统等核心要素，要求在固定和移动场景具有灵活的接入方式，保障恶劣工业环境下高可靠低延时传输，同时兼顾不同数据传输的特性和需求。企业外网用于连接企业各地机构、上下游企业、用户和产品设备，要求数据传输稳定可靠，具备灵活的网络接入方式，保证网络时延控制和安全。

（1）建设现状

在网络基础设施能力建设方面，氢燃料电池汽车相关企业使用的不同设备通信协议复杂多样、标准不统一，部分设备尚不能自动采集数据，未能实现全面联网，互联互通难度大；企业内部多种网络部署方式共存，大部分设备属于独立局域网组网，难以满足设备、系统交互需求，容易形成“数据孤岛”；尤其是中小企业 5G 网络应用偏少，直接影响企业的研发设计、集成和运维等各环节效率，导致精细化控制和高等级工艺流程管理等应用场景难以落地，应用场景有待普及。

（2）建设需求

基于行业网络基础设施能力建设现状，建议改进方向如下：

一是增强网络的高融合、可拓展性，提高设备互通互联水平。要求生产现场网络能够灵活配置，可以通过协议解析、数据转换、地址空间重映射等技术将不同生产设备的通信协议转换成统一协议，从而支持不同类型网络融合，实现新建设备快速接入、支持异构设备联网，增强生产设备协同性。

二是合理进行网络规划，兼顾数据、算力、安全等需求。利用现场总线、工业无源光纤网络（PON）、5G 等技术，构建 IT 与 OT 融合、有线与无线协同的通信网络架构。基于嵌入式操作系统、边缘分析等技术，在边缘侧进行数据预处理、存储、预分析，并与云端形成协同。建立端到端网络接入规范，制定端口冗余及隔离策略。

三是加强网络能力建设，支撑跨业务、跨基地、跨企业协同。除了满足高可靠、广覆盖、大带宽等要求，还可引入边缘计算等新技术，融合边缘节点、边缘云和中心云三部分，形成企业层算力网络管理平台，通过有效地管理和调度边缘节点和边缘云，使得企业办公网络、生产管理网络、工业控制网络实现统一管理和灵活流动。

（3）建设部署

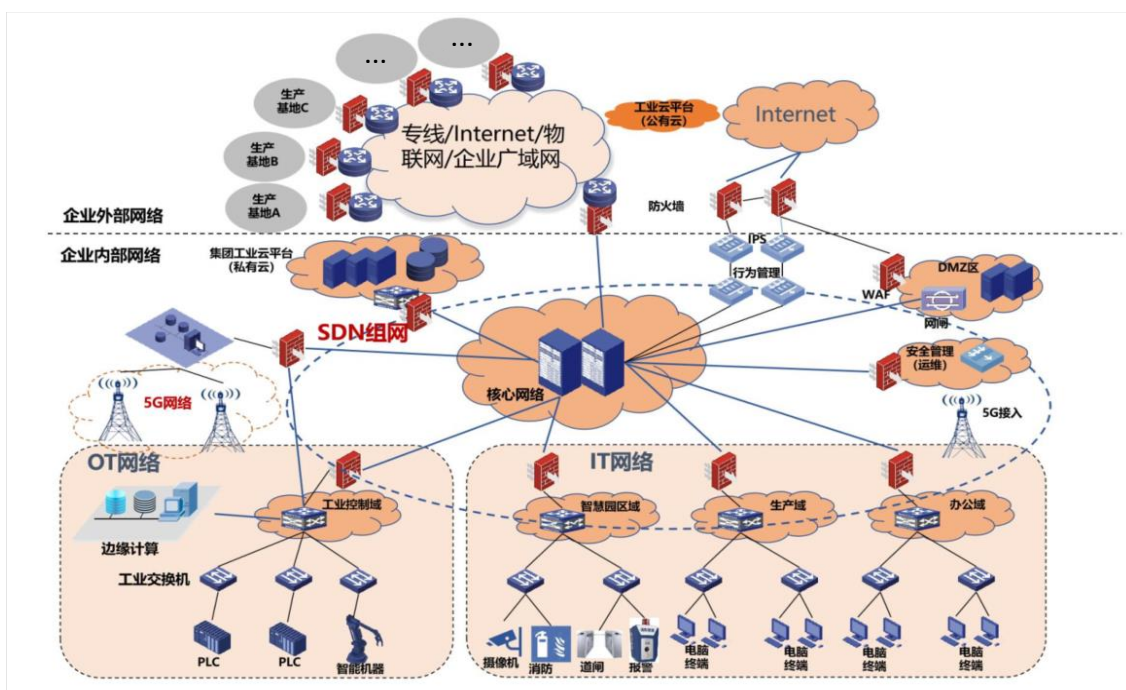


图 3 整体网络架构

① 车间层

在新型智能设备接入时可使用叠加模式。对于实时设备监控、自动化控制、工业视觉分析、能耗管理等场景，现有的工业控制网络难以满足新业务需求时，可基于 5G、工业 PON、工业无线等新技术，叠加构建支撑新业务流程的网络。例如，在已有的自动控制网络基础上，应用工业无线等新型网络，叠加部署新的传感器、高清工业相机等，对设备进行实时状态监控，实现设备全生命周期管理和设备故障预测性维护。

在增强原有设备功能时可使用升级模式。对原有生产设备进行升级，增加通信接口，实现网络技术和能力升级。例如将原有的模拟式仪表更换为 5G 智能仪表，实现主要工艺参数实时在线监控、工序间信息有效及时传递、质量缺陷在线判定、质量控制模型开发等。

② 企业层

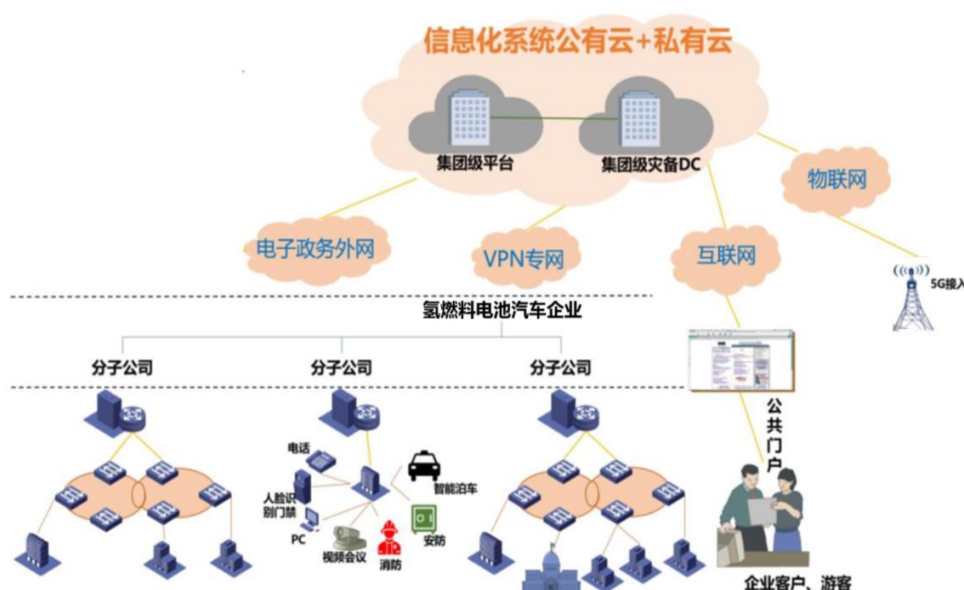
大型氢燃料电池汽车企业一般采用核心层、汇聚层、接入层的三层网络架构搭建园区主干网。其中园区主干网核心层设备位于企业数据中心内，汇聚层设备位于企业区域汇聚机房，接入层设备位于传统的车间设备间（工业互联网边缘设备间）内。企业也可采用大二层的扁平化网络架构，部署 SDN 技术，实现柔性和极简的网络管理，大幅降低企业管理网络的难度和工作量。还可以根据自身业务需求和预算，选择建设 5G 专网，构建高可靠、大带宽、高性价比的无线网络。企业数据中心建

议采用云边协同技术，将企业办公、生产及安防系统云化部署，实现企业数据的实时高效汇聚、分析和交互。

园区网应在一张物理网基础上，采用 VLAN 及 Overlay 等网络虚拟化技术相结合，划分多业务网，同时支持办公、生产管理、视频（含视频会议）、语音等企业级应用。主干网配置出口网络设备（安全设备），连接企业对外专线和互联网出口，以建设统一、安全可控的工厂外网出口，避免多出口导致的管理和安全风险。

企业/园区网络通过跨工序的信息化系统与生产控制网络进行连接，实现生产数据的采集，以及控制指令的下发。根据“网络安全等级保护制度 2.0”相关规范的要求，两个工厂内子网络之间须配置防火墙、网闸、单向隔离设备等边界安全隔离控制设备。企业/园区网络也可基于 5G 局域虚拟专网实现。

③ 产业层



普通上网业务采用非固定 IP 方式，上下行速率不同，优先保障下行速率。普通上网宽带下行速率多在 100Mbps~1000Mbps 之间，一般为楼宇或单元共享带宽的方式，随着接入用户数量的增加，下载速率有所下降，并可能出现网络拥堵情况。

针对集团总部与分子公司或生产基地间的网络部署，可以通过购买运营商工业互联网高质量专线，支撑企业的高质量业务。企业专线可为企业多基地连通提供基于互联网的虚拟专线（如 SD-WAN、IPsec、MPLS-VPN 等）、物理隔离的专线（如 SDH、MSTP、OTN 等）、网络切片等定制化的专属资源。

基于 4G、5G 及 NB-IoT 等蜂窝网络形式的无线外网技术也在逐步延伸到企业的各业务环节，实现设备、配件、信息系统以及人之间的网络互联，同时通过对工业数据的全面感知、传输交换、分析处理，实现了远程管理、运营优化和生产组织方式变革。

企业与分支机构的互联多为星形组网，分支机构如在国内，多租用运营商光纤专线物理直连省内分支机构，以保障数据传输的安全性；MSTP 则是同城互联中常用优选方案，成本低且较为稳定；跨省连接的企业则根据自身需求考虑 MSTP 或 MPLS-VPN 专线；涉及国际分支机构的企业，多采用 MPLS-VPN 或租用运营商境外网络或精品网络的方式连接。MPLS-VPN 由于在灵活性、扩展性等方面的优势，在企业外网中得到

了广泛的应用。而随着云网协同需求的增加，多分支机构企业开始使用通信运营商的云联网组网模式进行企业外网建设。这种建设方式中，由通信运营商预接入全球主流云商、企业数据中心、境外运营商网络等节点，企业总部及各分支机构在进行业务开通时，可采用专线、SD-WAN、物联网等多种方式与就近的 PE（核心设备）进行联接，即可实现网络开通。

产业链协同是基于氢燃料电池汽车企业、物流商、金融机构、零部件加工企业、下游用户等行业主体的互联互通，一般来说对通信的时效性和可靠性要求相对较低。对于该类供应链数据的跨企业互通业务，往往通过互联专线和普通宽带就可满足需求。如果需要与上下游企业进行数据实时交互，则应采用 MPLS 或 MSTP 等企业专线保证数据传输的安全性与可靠性。

（4）“5G+工业互联网”

① 5G 网络需求

氢燃料电池汽车行业对 5G 网络的应用需求主要包括数据采集类、控制类、图像信息传输类三方面：一是面向生产设备及检测设备数据的大范围高效采集，需通过 5G 技术解决传统有线网络存在覆盖盲区的问题，开展三现（现场、现物、现实）数据集控、柔性生产岛新型生产组织、能源管理等应用；二是面向工控设备、机器人等生产设备协同作业、物流运输设备的远程作业控制以及氢燃料电池汽车产品设备的远程监控，需通过 5G 网络实现远程高效控制；三是面向产品质检、自动装配、生

产现场安全状态等高清图像视频传输交互，需通过 5G 网络解决因为视觉系统频繁移动造成的线缆缠绕严重问题，开展质量缺陷检测、AR 辅助装配、安全生产监控等应用。

② 5G 网络功能要求

生产现场方面，一是低时延要求，自动运送、机械臂分拣等现场控制类业务对通信传输时延要求较高，通常要求毫秒级时延，需要进行空口时延优化、UPF 下沉等操作来减少时延；二是大带宽要求，产品机器视觉质检、远程控制管理、人员现场安全管理等场景需要进行高清图像视频的上行传输，需依靠 5G 网络通过引入超级上行、频率折叠、子帧配比调整等技术，增加上行时隙占比，提高上行带宽；三是高并发与高速传输要求，各类设备、仪表的数据采集需要 5G 支持局部区域内海量高并发、中高数据速率的物联网连接；四是安全隔离和可靠性要求，包括和公众普通用户的隔离、企业内各业务之间的隔离，同时需具有超强抗干扰性、稳定性，具备可靠的数据传输、容灾及快速恢复机制等，满足高可用要求，保障生产信息安全。

企业、园区及产业方面，一是园区安全要求，涉及门禁管控和移动巡检、运输车无人驾驶等场景，对 5G 大带宽、安全隔离和高可靠性等提出了跟生产现场网络同样的要求；二是多地专家的实时协同设计要求，基于与客户良好互动的个性化定制等场景，需要通过 5G 的毫秒级时延实现；三是私有数据不出园区要求，研发设计图纸、生产工艺参数、设备运行状态等数据

属于企业私有数据资产，关键数据还关系到企业竞争，这部分数据通过 5G 网络传输时需要物理上留在企业内仅供内部使用，5G 网络架构设计需保证企业私有数据不出园区。

③ 5G 网络建设部署

氢燃料电池汽车企业业务场景复杂，为满足不同企业、多种场景下的业务需求，兼顾对安全的高要求，建议企业采用 5G 虚拟专网建设模式。综合考虑应用场景、地理位置、服务范围等因素，氢燃料电池汽车行业 5G 网络建设可分为面向独立企业园区的局域虚拟专网和面向一总部多基地的广域虚拟专网。

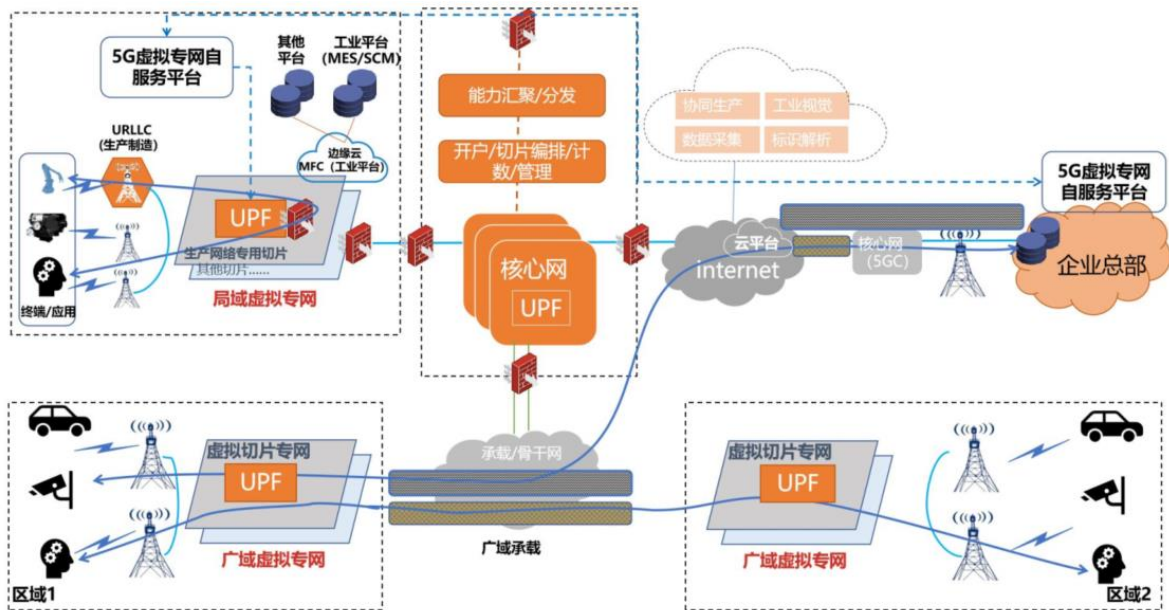


图 5 5G 网络部署

面向独立企业园区的局域虚拟专网，由基站、UPF、边缘计算平台、企业业务平台、5G 虚拟专网自服务平台等组成。一般限定特定地理区域，基于特定区域的 5G 网络，借助边缘计算的分流实现本地业务闭环。与大网之间通过防火墙等进行安全隔离，保障数据安全。5G 网络建设需要满足企业对于园区内网

络和业务能力的本地化、个性化需求，并和自身的 OT 和 IT 系统融合，打通生产和办公。企业根据细分场景需求和自身特点来进行专网架构的定制，从而更好地将 5G 应用于企业园区。

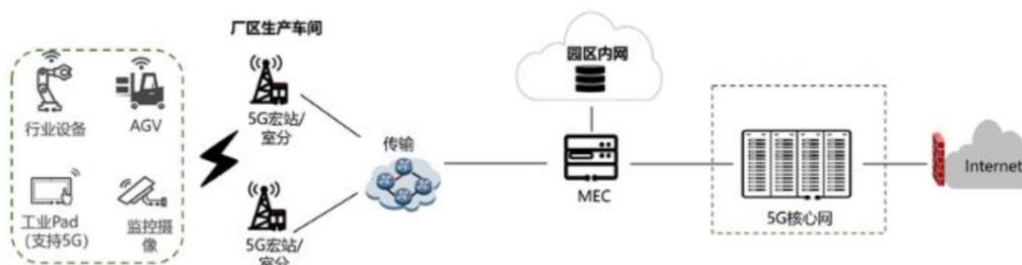


图 6 园区 5G 专网部署

另一方面，大型企业往往都采用一总部多基地的模式，总部和各生产基地、各生产基地之间，一般都存在统一管理、数据共享、业务协同的需求。面向一总部多基地的 5G 广域虚拟专网，可以不限定地理区域，通常基于运营商的端到端公网资源，借助网络切片、专线等技术实现。

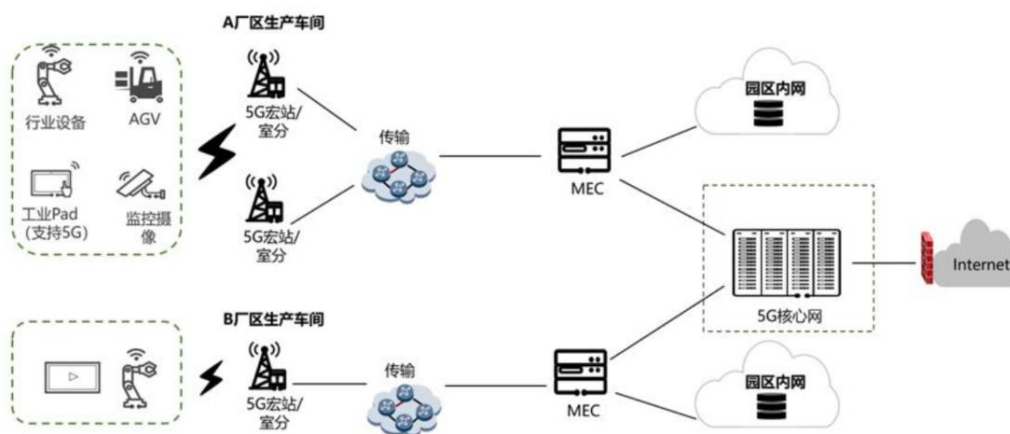


图 7 跨园区 5G 专网部署

3.2 网络标识解析体系建设

标识解析体系建设是企业智改数转网联发展的重要纽带。主要包括标识编码和解析系统两大部分。其中，标识编码相当于“身份证”或者“门牌号”，即为设备、产品、零部件等物

理对象和算法、工艺、数据等虚拟对象赋予全球唯一的编码，是连接对象相关信息的入口。解析系统，即为获取对象信息的系统和平台，它依据标识编码，对网络地址和相关联的信息进行查询，承载了数字对象设计、生产、仓储、物流等全生命周期的信息获取及数据交互，为供应链全流程管理、追踪溯源、网络精准协同等应用提供基础。

（1）建设现状

标识应用技术主要集中在行业大型生产企业，多从设备全生命周期管理、质量精准追溯等典型场景切入，开展标识融合创新应用。然而，现阶段大部分中小企业的标识应用不足，行业整体缺乏具有共性亮点的标识应用解决方案。另一方面，目前缺乏针对氢燃料电池汽车行业的标识解析标准规范，缺少标识应用的行业指引，难以系统化、规范化地指导相关企业开展标识应用。加之企业内部各类信息系统间数据标准不统一、横向数据互联互通难，导致数据整体利用效能偏低。此外，由于氢燃料电池汽车的行业属性，目前行业内标识解析应用主要围绕生产制造及产品管理方向，对设备预测性维护、碳资产管理等应用相对较少，有待进一步拓展。

（2）建设需求

基于行业标识建设现状，建议改进方向如下：

一是推动行业标识规模化应用。通过标识规模化应用，实现设备、系统间高效的数据互操作与信息联通，提升产业链智

能化水平。制定行业标准，确保数据交换一致性，加快标识解析节点部署，形成广泛覆盖网络，深化标识在设备追踪、运维、供应链管理等场景的应用，促进实践案例推广。

二是构建产品编码公共解析体系。利用工业互联网标识全网唯一、精准定位、信息关联的特点，创建统一的氢燃料电池汽车行业产品编码规则与数据接口标准，使得不同企业、不同系统之间能够无缝识别和共享产品数据，包括规格型号、技术参数、生产厂商等关键信息。旨在简化采购流程、减少信息误差，同时促进库存优化与物资调配的精准性。

三是实现跨产业、跨企业的全流程信息贯通。通过工业互联网标识解析体系实现氢燃料电池汽车行业各环节、各企业间信息的对接与互通，促进供应链上下游企业间的高效协同。通过标准化的数据接口和云端解析服务，企业能够实时追踪产品状态、优化库存管理、提升物流效率，为用户提供透明的产品追溯服务。



图 8 工业互联网标识解析功能架构

(3) 建设部署

以国家顶级节点为核心，建设氢燃料电池汽车行业二级节点和递归节点，形成统一管理、互联互通、高效可靠的基础设施；氢燃料电池汽车行业上下游及相关企业应以独立建设或托管建设的方式建设企业节点并接入本行业二级节点。企业节点应依托设备侧与边缘侧建设的能力，与企业内部工业软件、工业互联网平台实现横向对接打通，为企业提供工业互联网标识应用所需的注册、解析、统计、数据存储等基础能力，形成企业标识数据资源池；在设备侧方面，借助标签载体和数采设备，依托标识解析企业节点标识注册功能，对产业链全流程中唯一识别的物理实体（如原材料、设备、人员、产品等）和虚拟实体（如订单、仓单、物流单、模型算法等）进行“一物一码”标识，形成企业底层数据资源池。

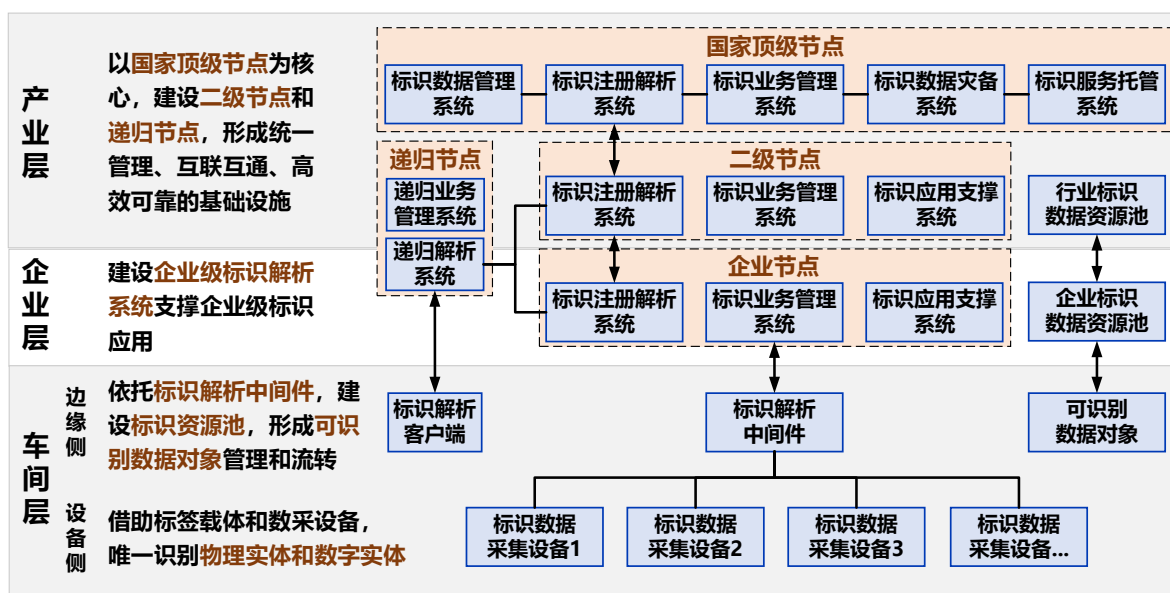


图 9 工业互联网标识解析建设部署

3.3 数据采集能力建设

数据是企业的核心要素之一。企业需要通过数据采集、传输、存储、处理和分析等环节，将研发、生产、供应链管理过程中产生的各种数据进行整合和利用，实现对产品设计、生产、维护等阶段的监控、优化和管理，提高生产效率和产品质量。工业互联网的价值在很大程度上取决于采集数据的数量和质量。制造业企业的数据采集，主要是利用泛在感知技术对多源异构设备和系统、环境、人员等一切要素信息进行采集，并通过一定的接口与协议对采集的数据进行解析。信息可能来自于加装的物理传感器，也可能来自于装备或系统本身。数据采集的方式主要包括传感器、条码技术、RFID 技术、工业网关采集、远程 IO 采集等。

(1) 建设现状

氢燃料电池汽车相关企业生产设备种类繁多，设备协议的多样性使得设备之间的联系不够紧密，进而增加数据采集的难度，而新旧设备之间协议的兼容性问题，往往也会导致新旧设备无法进行数据交互，难以实现数据的统筹管理。此外，企业在 IT 领域 IoT 平台和云平台等通常支持的是 HTTP、MQTT 等协议，但在 OT 领域现场设备支持的协议大部分都是 Modbus、OPC、Profibus、EtherCAT 等工业协议，协议的不一致性使得企业难以实现 IT 和 OT 的融和。另一方面，当数据量较大时，对于网络的带宽要求非常高，否则会影响网络传输的可靠性，产

生较大的传输时延。尤其在设备故障诊断、多设备间的协同作业、状态监测等场景，由于需要在数据采集、分析和决策执行间快速完成闭环，因此对数据的实时处理有着较高的要求。

（2）建设需求

基于数据采集能力建设现状，建议改进方向如下：

一是提升装备全面感知数据采集能力，保障数据质量与完整性。氢燃料电池汽车行业联网设备数量大、种类多。可以通过广泛部署小微传感器、芯片化智能终端和智能网关等手段，采集大量数据，挖掘数据间的关联性，实现跨领域、跨业务的数据共享。结合边缘计算和人工智能技术，在边缘侧为设备就近提供高级数据分析、场景感知、实时决策等服务。

二是有效整合全业务全环节数据，提升数据治理和数据驱动决策能力。在企业层面，数据不再局限于单一设备，而是跨越整个企业范围，涵盖生产、运营、市场、客户服务等多个环节。由于氢燃料电池汽车企业的业务覆盖广、数据源多样，来自不同系统和设备的数据格式各异，缺乏统一标准，难以有效整合。因此，需要建立企业级数据湖或数据中心，采用统一的数据模型和标准协议对数据进行标准化处理，实现数据的统一存储和管理。此外，企业需要构建完整的数据治理体系，包括数据生命周期管理、元数据管理、数据质量管理、数据安全管理等，确保数据的准确性、一致性和时效性。通过实施数据治理，企业能够更好地掌握数据资产，提高数据可用性和价值。

(3) 建设部署

建设“云-边-端”协同体系，推动向“采集+本地闭环+云端监管”模式转变。本地闭环：将人工智能算法部署于边缘侧智能网关，使其自主完成预设任务、上传结果，实现数据就地计算和就近控制。云端监管：通过统一物联接入管理远程对智能网关的算法进行统一部署、训练和升级，提升系统的灵活性和智能化水平。实现数据的统一采集、统一供给。支持消息队列遥测传输（MQTT）、超文本传输安全协议（HTTPS）、实时流传输协议（RTSP）、开放式网络视频接口论坛（ONVIF）等多种协议。其中，MQTT 协议主要对接结构化数据内容，可接入智能网关、巡检机器人、门禁等终端。HTTPS 协议主要用于文件传输和 API 对接，可用于远程运维的日志传输、升级包传输，业务应用的文本、图片、视频等数据内容传输。RTSP 协议主要用于传输实时视频流。ONVIF 协议也是主要用于视频流传输，可用于安防、实时监控、历史视频、云台控制等应用。

3.4 信息系统能力建设

企业在完成研发设计、生产制造、供应链管理等过程中某单一环节智能化、数字化改造的基础上，实现基于工业互联网的互联互通是企业实施智改数转网联转型的关键。而企业的信息系统建设能力是构建工业互联网平台的基础和中枢。通常工业互联网平台包括边缘层、IaaS、PaaS 和 SaaS 四个层级，相当于工业互联网的“操作系统”，主要用于实现数据汇聚、建模

分析、知识复用与应用创新等。企业信息系统建设和服务能力按照技术成熟度可分为初始级、基本级、良好级、优秀级和杰出级五个阶段，如下图所示。

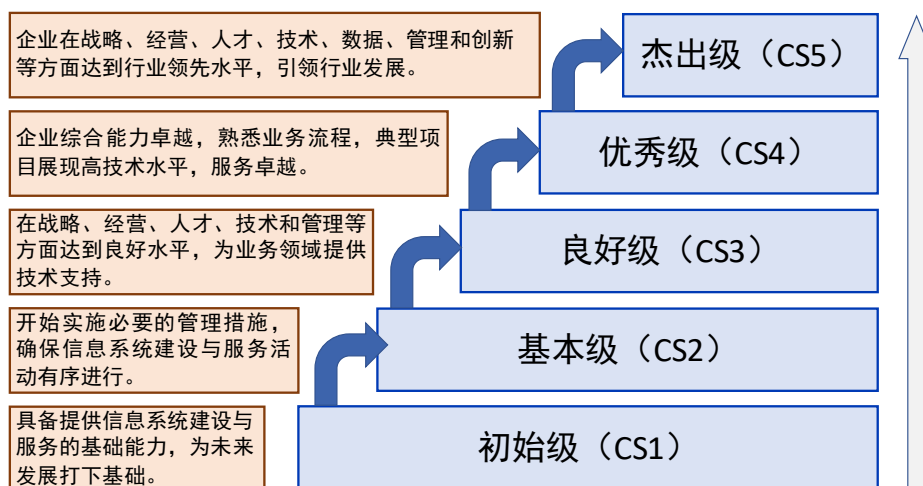


图 10 信息系统建设和服务能力分级

企业应根据自身所处产业链的不同阶段和企业现状，提出实施智改数转网联的具体需求，开展信息系统能力建设。

(1) 建设现状

现阶段，企业信息系统能力建设难点主要体现在：一是氢燃料电池汽车相关产品全生命周期链条长，涉及数据量大且复杂，全生命周期数据的汇聚应用对于支撑企业安全生产、经营决策等具有重要价值。但传统信息化系统难以支撑现场环境、设备运行、地理位置、客户需求等重要数据集中汇聚和分析，部分企业暂不具备边缘侧数据处理能力，影响数据价值释放。

二是行业数据标准不统一，数据互通难度大。大部分氢燃料电池汽车头部企业均已部署 ERP、MES、PLM 等系统，但由于缺乏统一的数据标准，不同系统的开发语言多样、系统部署

环境多样，导致系统间集成度低，数据流难以在产业链和企业内部贯通。同时 MES 等系统与设备间的数据交互部分仍依赖人工介入，数据采集实时性不佳、互联互通程度较低。而大部分中小企业目前暂未建立一体化平台，设备尚未充分上云上平台。

三是大企业平台初步成型，中小企业平台应用少。大型氢燃料电池汽车企业已经建有体系架构完善的工业互联网平台，应用场景基本涵盖研发设计、生产制造、售后运维等全生命周期，部分平台已具有初步的通用型工业操作系统，可对外输出服务。但大部分中小企业目前暂未建立一体打通的平台，设备尚未充分上云上平台。

四是产业级平台已有应用，仍有待进一步普及。目前已有大型氢燃料电池汽车企业孵化建设产业级平台，可提供产业链协同、跨领域融通服务等解决方案，并向其他行业、领域推广应用，支持跨行业跨企业资源共享。但平台大都未脱离企业母体，行业标准化平台有待建立。大部分中小企业仍采用传统方式进行业务资源对接，产业级平台应用仍有待普及推广。

（2）建设需求

基于行业信息系统能力建设现状，建议改进方向如下：

一是提升数据采集能力，强化边缘层建设。借助物联网、大数据技术提高设备数据实时采集、处理分析等能力，满足生产设备自动控制需求，包括物流自动转运、机加工设备智能控制、多设备协同作业、机器视觉检测等应用。

二是加强数据标准建设，提升数据交互能力。加强数据治理，通过制定统一的数据格式和传输方式等标准，对来源不一致、杂乱无章的数据进行整合，实现不同系统间数据的有效对接，降低数据转换和集成的复杂性，提高数据处理的效率和灵活性，促进产业链数据高效共享和流通。

三是聚焦行业特色需求，开发推广典型应用。例如针对产品设备智能运维需求，基于平台的数据沉淀和模型应用，开发部署产品设备运行监测等应用。针对供应链协同需求，依托平台开发供应链弹性管控、智慧物流等云化应用服务。

四是发展产业级平台，促进上下游资源协同。汇聚产业链上下游优势资源，实现优质客户、供应商、金融机构等主体的供需精准对接。基于平台实现横向价值创新，满足产品服务端的价值链延伸需求，形成产品高效运维、供应链金融、设备安全监管、资产管理、智慧施工服务以及产品设备循环再利用等创新应用模式。

（3）建设部署

根据氢燃料电池汽车行业业务场景需求，工业互联网平台部署建议分为车间层、企业层及产业层三大层级，分别满足车间生产、企业管理及产业链协同等不同需求。

① 车间层

面向自动控制类业务，平台应具备数据接入和边缘控制功能。通过接入设备数据并与经营管理系统集成，形成生产过程

的控制指令，并为其分配现场级算力资源进行数据分析和模型计算，实现生产设备的实时智能控制。

面向生产优化类业务，平台应具备数据采集、数据管理、模型管理、数据分析、数据可视化等功能。此类业务主要采集仪器仪表、智能设备等实时监测的生产过程数据，经过融合集成后输入工业机理模型，通过数据可视化实时监控生产状态，并计算得出工艺优化方案。

面向协同生产类业务，平台应具备数据接入、现场级数据分析、边缘控制功能，通过边缘网关连接现场设备，为各工序设备提供现场级算力和网络连接，将生产指令传输到设备执行，达到工序之间的实时协同调度和柔性生产管理。

面向设备健康管理类业务，平台应具备数据采集、数据管理、模型管理、数据分析等功能。首先要通过边缘网关采集设备数据，通过协议解析、数据预处理支持异构数据融合集成，输入设备模型后通过数据运算，分析设备状态，给出故障预警和优化建议。

② 企业层

面向产品研发设计业务，平台应具备数据接入、数据建模与分析、机理建模等功能，以搭建私有云服务的方式来调用数据管理、数据分析、机理建模等功能模块，实现传统 CAx 等研发设计系统中的数据打通与云端集成，从而实现高效协同的研发设计。

面向经营管理优化业务，平台应具备异构数据接入、大数据计算分析和管理等功能，通过将人力、财务、资产、销售、采购等基础信息上传至平台数据管理模块，实现信息的汇聚与共享，进而支撑企业经营决策的优化。

面向生产管控一体化业务，平台应具备资源调度、数据管理、数据分析与建模等功能，以搭建私有云服务的方式集成业务管理系统和生产执行系统中的数据，实现企业生产数据和经营管理数据的实时汇集、分析和交互，支撑生产管控一体化、精准化决策。

③ 产业层

产业层的工业互联网平台构建，核心在于打破企业界限，实现全行业数据互联互通、智能分析决策与生态共创。首先，需建立统一的数据标准与安全体系，打通氢气制储运加、氢燃料电池系统及关键零部件、氢燃料电池汽车整车、氢能装备与检测以及加氢站等全链条数据壁垒，保障数据高效集成与安全共享。其次，集成 AI 等技术，对海量数据进行深度分析，以精准预测供需、优化资源配置、强化故障预防及能效管理，推动决策智能化。构建开放合作生态，提供开发者工具与 API 接口，吸引多元主体共创应用，丰富服务生态，加速技术创新与模式迭代。同时，重视平台的稳定运行与持续进化能力，确保技术架构的前瞻性和灵活性，以适应行业快速发展需求。

3.5 信息安全能力建设

随着汽车智能化、网联化的不断发展与应用，车辆的信息安全问题日益严峻，一旦遭受网络攻击则可能导致用户个人信息泄露及远程入侵控车等严重后果，影响车辆用户的信息、财产、生命等多方面安全，甚至危害社会与国家安全。2024年8月，由工业和信息化部提出并归口的强制性国家标准《汽车整车信息安全技术要求》（GB/T44495-2024）正式发布。在汽车信息安全管理体系、信息安全、信息安全技术等方面均提出了明确要求。信息安全能力建设主要是指围绕设备、控制、网络、平台、应用、数据等多层次构建信息安全防护体系，建立健全信息安全分类分级管理制度，加强监测预警、应急响应、检测评估等技术体系和安全机制建设，推动氢燃料电池汽车行业健康有序发展。

（1）建设现状

在信息安全能力建设方面，氢燃料电池汽车行业主要面临：

一是异构设备众多，接口安全防护欠缺。设备连接条件和连接方式多样，存在大量不安全接口。边缘层缺乏对异构设备接入的安全管理，接口安全防护水平有待提升，对多设备的状态感知、安全配置自动更新和主动管控机制有待建立和完善。

二是海量终端接入，数据安全保护不足。当前大部分氢燃料电池汽车企业的数据安全防护措施较为基础，随着产业高速发展，越来越多的终端设备接入工业互联网平台，数据安全管

理的范围不断扩大，数据安全防护的难度和数据攻击事件分析的复杂程度不断增加，针对数据滥用、隐私泄露等风险的安全防护措施有待提升。

三是信息安全建设机制不完善，综合保障能力偏弱。大部分氢燃料电池汽车企业的安全建设围绕基本安全需求开展，缺少对工业互联网安全配置、设备运维等知识体系的持续学习。

（2）建设需求

基于行业信息安全能力建设现状，建议改进方向如下：

一是加强对工控设备的安全管理，提升设备安全防护水平。基于氢燃料电池汽车企业自身需求与实际情况，在 PLC、DCS 等核心控制设备前端部署具备工业控制协议深度检测功能的防护设备，从而检测和阻断不符合协议标准结构的数据包和不属于生产业务范围的数据，构建工业控制设备可信环境。

二是加强对信息系统的的海安全管理，提升系统的可信可靠程度。在企业信息系统平台规划建设时要部署安全防护策略，强化平台安全系统建设，并在企业与平台的接口处增加安全防护软件，从而防止重要业务数据泄露，保障业务安全运行。

三是加强安全管理制度建设，形成常态化安全管理机制。建立完善安全管理制度和实施细则，明确安全管理权责，转变安全管理理念，将安全防护措施部署由静态防御转变为主动防御，常态化监测安全态势，协同联动处置风险，实现对风险隐患的协同防护、主动发现、及时清除，系统提升安全管理水平。

(3) 建设部署

氢燃料电池汽车企业的信息安全建设主要包括设备安全、控制安全、网络安全、应用安全、数据安全、标识解析安全和平台安全等。

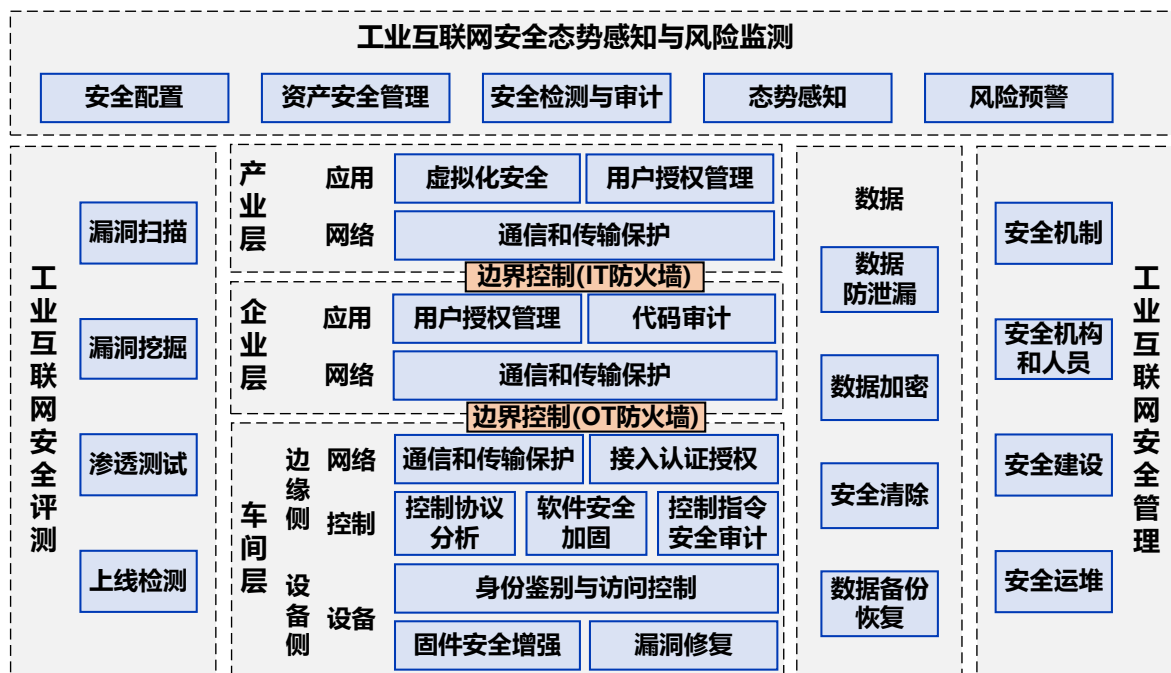


图 11 行业工业互联网安全功能架构

设备安全方面，主要关注边缘智能设备安全，设备涉及工业机器人、智能仪表以及其他类型智能设备。硬件方面采用经过安全增强的设备固件，从操作系统内核、协议栈等方面进行安全增强，软件方面应关注工控设备的安全漏洞及补丁发布。

控制安全方面，主要关注过程控制安全，包含终端工控机、工控系统及组态软件等，可采用控制协议分析、软件安全加固、控制指令安全审计等安全管理策略。

网络安全方面，主要关注生产现场网络安全、制造资源接入安全、跨生产基地网络安全、跨企业通信安全等，可采用边

界控制、通信和传输保护、接入认证授权保障等策略。

应用安全方面，主要关注平台边缘接入安全和运行安全，确保企业经营管理、产业链供应链协同等各类业务的应用安全，可采用用户授权管理、代码审计、虚拟化安全等策略。

数据安全方面，主要关注边缘智能仪表数据采集与传输安全、企业客户数据、员工数据、财务数据等敏感数据的安全，可采用数据防泄漏、数据加密、数据备份恢复等策略。

标识解析安全方面，主要关注标识解析节点架构、标识解析系统安全、标识解析数据安全、标识解析运营安全等。

平台安全方面，主要关注平台设备与系统安全接入、工业云平台基础设施安全、平台数据安全等。此外，应同步做好涉及全要素的安全管理、安全评测和安全态势感知与风险监测等工作。

四、环节与场景

氢燃料电池汽车产业链条长，涵盖从上游的制储运加氢，到中游的燃料电池系统及关键零部件以及下游的整车集成等。本指南在参考《江苏省制造业“智改数转网联”典型场景参考指引》的基础上，结合行业实际，在产品全生命周期、生产全过程与供应链全环节三个方面，形成了涵盖产品设计、工艺设计、售后服务、生产作业、仓储物流、质量管控、能源管理、工厂建设、供应链服务 9 个环节 30 余个典型应用场景，环节与场景总览如下图所示。

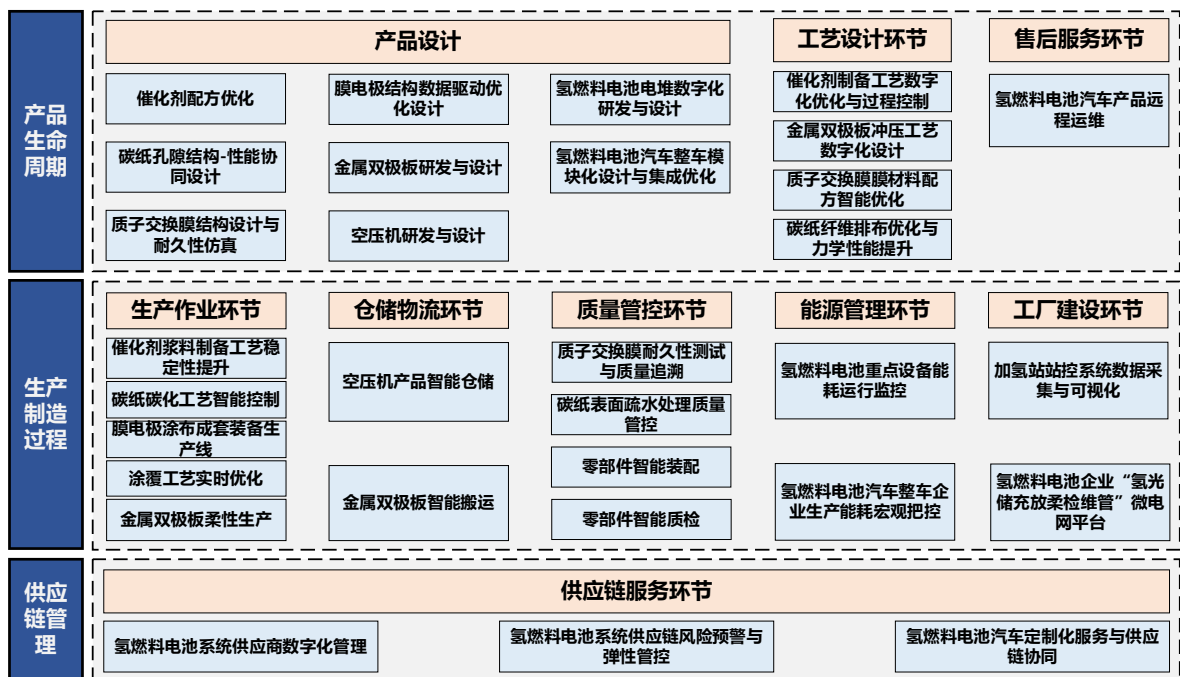


图 12 氢燃料电池汽车行业智改数转网联实施指南环节与场景总览

4.1 产品全生命周期

氢燃料电池作为燃料电池汽车的核心部件，由燃料电池电堆和其他辅助子系统（BOP）构成。电堆的主要构成包括膜电极、双极板、端板等，其中膜电极又可以分为催化剂、扩散层、质子交换膜等，辅助子系统主要包括氢循环泵、空压机、控制单元等。氢燃料电池的设计研发过程复杂，涉及电化学、热力学、控制学、机械设计、流体力学、电磁学等多个领域，研发数据量大、管理难度高。当前氢燃料电池的设计研发面临诸多技术瓶颈，**催化剂**依赖贵金属铂且活性衰减机制不明确；**质子交换膜**需突破高温低湿工况下的耐久性及成本限制；**碳纸**的孔隙结构-力学性能协同设计缺乏多尺度建模能力；**膜电极**的界面传质优化受制于微纳尺度工艺控制精度；**金属双极板**的耐腐蚀涂层设计与精密冲压工艺难以平衡；**空压机**的高效轻量化与宽

工况适配性不足；电堆的均一性控制与寿命预测缺乏数据支撑；燃料电池系统集成中热-电-氢多物理场耦合优化复杂度高等。

传统研发模式存在项目执行过程不够透明、跨部门数据共享困难、不同阶段研发数据一致性差、多系统之间存在信息壁垒等共性问题。部分企业由于其非标订单占比较高，在产品开发过程中往往采用边设计、边采购、边制造、边调试的模式，导致设计变更频繁、协同难度大。亟需通过提升企业智能化、数字化手段，突破技术瓶颈，缩短研发周期，降低试制成本，为产业化落地提供核心支撑。

4.1.1 产品设计环节

（1）催化剂配方优化

催化剂作为氢燃料电池膜电极的核心零部件，其活性与耐久性直接影响到整个燃料电池的效率。企业可构建材料组分数数据库，结合机器学习算法建立催化剂量效关系模型，通过高通量计算筛选 Pt 基/非贵金属催化剂配比。利用自动化实验平台实现配方快速验证，结合电化学工作站与寿命测试数据闭环反馈，形成配方动态优化机制，以缩短催化剂的开发周期，减少贵金属用量，降低成本。

（2）碳纸孔隙结构-性能协同设计

碳纸的孔隙率与气体扩散/排水性能具有强耦合关系。企业可以采用 CT 扫描建立碳纸三维孔隙数字化模型，结合格子玻尔兹曼法（LBM）模拟多相流动态特性。通过参数化设计平台调

整孔隙梯度分布与孔径配比，利用增材制造技术快速成型验证。提升气体扩散层渗透率，降低水淹风险，为氢燃料电池的稳定运行提供保障。

（3）质子交换膜结构与耐久性仿真

对于质子交换膜燃料电池来说，其核心零部件质子交换膜的结构直接决定了质子传导率与机械强度。企业可以基于多物理场仿真平台建立膜的湿度-温度-应力多场耦合模型，模拟溶胀、裂纹扩散等失效机制。结合加速老化试验数据迭代优化支撑层网格结构与厚度分布，通过拓扑优化平衡导电率与抗蠕变性能，降低质子传导损耗，提升膜的耐久性。

（4）膜电极结构数据驱动优化设计

膜电极作为氢燃料电池的“心脏”，其结构设计直接影响发电效率与耐久性。企业可通过多物理场仿真工具建立电化学-热-力耦合模型，结合材料特性数据库与实验数据，利用AI算法驱动质子交换膜厚度、催化剂层孔隙率等关键参数优化。通过构建数据驱动的自动化迭代设计流程，实现膜电极结构多目标寻优，解决传统依赖经验试错导致的研发周期长、成本高等问题，同时提升功率密度与寿命指标。

（5）金属双极板研发与设计

金属双极板作为氢燃料电池的核心零部件，其流道结构设计、耐腐蚀性及密封性能直接影响电堆输出效率与寿命。传统研发设计存在迭代周期长、多物理场耦合分析不足等问题。企

业可通过参数化设计平台，集成流体力学、电化学、结构力学等仿真工具，建立流道拓扑优化模型，动态调整流道深度、宽度及分布密度，平衡气体扩散效率与压降损失。依托 PLM 系统构建材料-工艺-性能关联数据库，结合腐蚀加速实验数据，利用机器学习预测不同涂层方案的耐久性衰减规律，指导耐蚀镀层厚度与成分优化。通过数字孪生技术模拟冲压成型过程，预判微裂纹、回弹变形等缺陷，反向修正模具设计参数，实现“仿真-试制-测试”闭环迭代，缩短研发周期并降低开发成本。

（6）空压机等零部件研发与设计协同

空压机作为氢燃料电池的核心辅件（BOP），具备较高的复杂度，需要上下游和跨专业的高度协同，企业可依托 PLM 等平台，建立氢燃料电池汽车产品设计全链条数据库，结合氢燃料电池的制造需求、仿真模型及工业大数据深度挖掘所获得的知识，指导产品设计优化的方向，构建参数化、协同化、柔性化的氢燃料电池产品设计体系。解决传统产品设计依赖人工，设计数据流容易出现断点、产品系列化设计效率偏低的问题。

（7）氢燃料电堆数字化研发与设计

氢燃料电堆作为氢燃料电池系统的核心部件，很大程度上决定了燃料电池系统的整体性能。其研发流程是一个复杂的工程项目，涉及设计、仿真、试验等多个关键环节。企业在使用数字化的开发仿真工具的基础上，可以通过构建数字化的产品数据管理系统、研发项目管理系统、试验管理系统等，实现与

CAD、EDA 软件协同设计，支撑多样化试验业务的开展，透明化的管控与知识积累，提升设计效率，缩短研发周期。

（8）氢燃料电池汽车整车模块化设计与集成优化

氢燃料电池汽车整车需统筹电堆、储氢系统、动力电池等多模块协同。企业可建立模块化架构库，定义标准化接口与性能约束规则，利用基于模型的系统工程（MBSE）平台开展多学科联合仿真，分析能量管理策略、热管理兼容性及 NVH 性能。通过参数化模型快速组合不同配置方案，实现氢-电系统匹配优化，缩短整车集成验证周期，支撑多样化车型的开发。

4.1.2 工艺设计环节

（9）催化剂制备工艺数字化优化与过程控制

在催化剂制备工艺方面，针对浸渍、煅烧等工艺参数敏感特性，企业可以部署在线监测设备实时采集温度、pH 值等数据，构建催化剂制备工艺数据库。通过多目标优化算法动态调整反应条件，结合机器视觉技术，检测纳米颗粒分散度，控制浆料涂覆厚度偏差。建立工艺知识图谱关联缺陷成因，形成自适应控制策略，提升产品批次一致性，降低能耗。

（10）金属双极板冲压工艺数字化设计

氢燃料电池金属双极板的精密流道成型是其制造的难点，需对冲压工艺参数进行精准设计。企业可基于有限元仿真平台构建材料形变预测模型，结合冲压模具数字孪生技术，模拟在不同压力、温度条件下的成型效果，优化流道深度、宽度及密

封面平整度。通过工艺参数组合寻优与虚拟试模，减少物理试验次数，实现高一致性冲压工艺设计，提升双极板良品率。

(11) 质子交换膜材料配方智能优化

针对质子交换膜的材料配方，企业可根据全氟磺酸树脂改性需求，构建分子动力学模拟与实验数据融合的配方优化平台。利用 AI 模型预测磺酸基团分布对含水率的影响规律，通过遗传算法求解耐高温/低溶胀最优解，开发梯度磺酸化膜材料。结合原位红外光谱验证微观结构，进一步提升电导率，控制溶胀率。

(12) 碳纸纤维排布优化与力学性能提升

碳纸的碳纤维取向直接影响其导电性与抗压强度。企业可基于数字图像相关技术（DIC）构建纤维排布-力学响应映射模型，采用深度学习预测各向异性传导规律。通过多轴编织工艺仿真优化纤维交织角度与层间结合方式，降低面内电阻，提升压缩回弹率，满足多种复杂工况下结构完整性的要求。

4.1.3 售后服务环节

(13) 氢燃料电池汽车产品远程运维

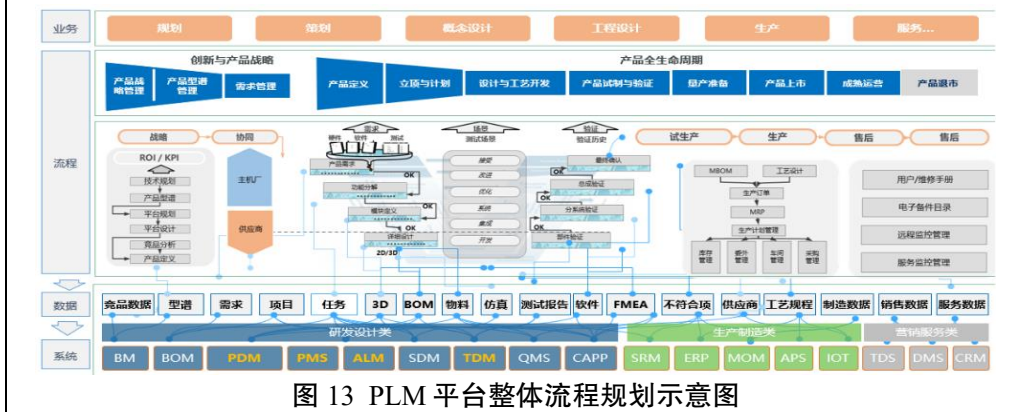
依托车载物联网终端与云端大数据平台，实时采集燃料电池系统，如电堆电压衰减、氢耗率等运行数据，通过 AI 模型预测关键零部件剩余寿命并主动预警。结合 AR 远程协作技术指导现场维护，同步更新产品设计缺陷库至研发端。通过 OTA 升级优化控制策略，构建“监测-诊断-优化”闭环，提升故障响应速度，推动产品全生命周期服务升级。

4.1.4 解决方案建议

建议相关企业基于 PLM 构建以项目为主线的端到端研发管理模式，通过项目来组织管理研发过程，将质量要求真正落实到技术、管理流程中，支撑质量管理体系落地，实现敏捷的项目开发，透明化的管控项目计划、质量、成本；同时开展产品设计知识库规划，建立企业设计知识库及分类规范，提升设计水平打造基于订单的产品快速设计能力，降低交付周期与成本，构建统一的研发资源与知识库，提升数据共享水平。

案例 1：基于 PLM 系统的氢燃料电池堆研发设计协同

某燃料电池系统供应商基于云原生架构搭建 PLM 系统平台，集成产品数据管理、研发项目管理、试验管理等模块，打通设计工具与仿真软件数据链，为跨部门和跨地域的团队成员提供实时共享信息，同时对氢燃料电池堆研发过程中产生的所有技术文档和数据，包括设计图纸、测试报告和工艺文件等进行在线集中管理，确保数据的一致性和可追溯性，在企业内部实现了管理在线、业务在线和数据在线，全面提高协同工作效率，缩短产品研发周期。



案例 2：氢燃料电池汽车智能网联服务

某氢燃料电池汽车整车企业投入研发费用 1200 万元，自主研发智改数转网联应用体系，以车联网为核心构建“数据驱动、智能协同、安全可控”的数字化生态，打造四大典型应用场景，推动全链条效率与用户体验升级。

① 车辆监控平台。基于统一数据体系与 ETL 开发模式，构建车辆监控平台，实时采集燃料电池系统参数、位置及故障码数据，动态优化控制策略以降低氢耗，同步预警潜在风险，提升车辆运行安全性与运维效率。



图 14 远程监控平台界面示意图

② 车主 APP 用户直联。整合车主服务场景至统一平台，提供智能导航、车辆状态、远程诊断等服务。通过数据挖掘实现个性化服务推荐与差异化运营。



图 15 车主 APP 界面展示

③ 智能 FOTA 远程升级。针对燃料电池车核心控制器（FCU/VCU/ICGM）软件迭代需求，打通业务链数据通道，实现远程升级任务自动化下发。用户可通过 APP 完成软件缺陷修复与功能优化，降低控制器的刷写费用。

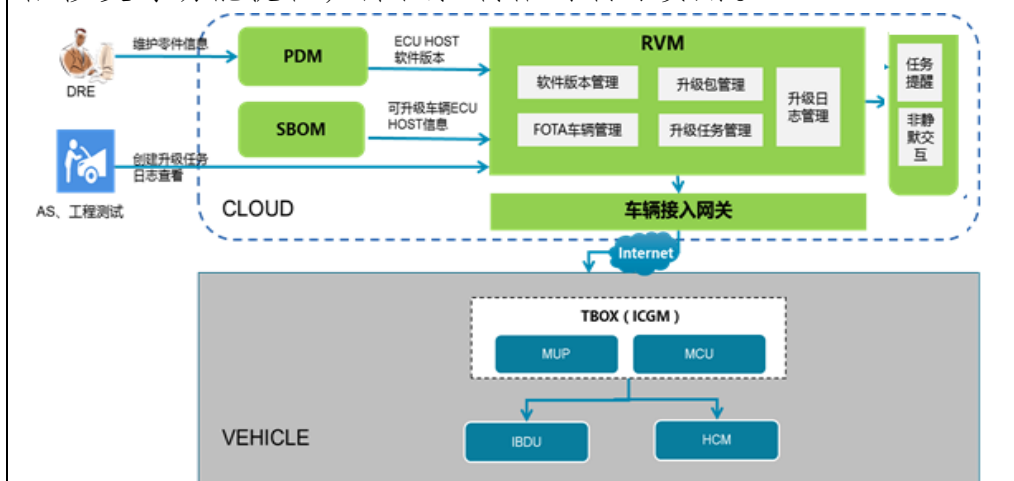


图 16 车辆智能 FOTA 远程升级示意图

④ 信息安全防护。构建覆盖“云-管-端”的立体防护架构，采用客户端准入策略（SNAC/RADIUS）、网络访问控制（ACL/堡垒机）及带宽智能调配技术，实现数据全链路加密与设备可信接入。

4.2 生产全过程

氢燃料电池系统制造工艺主要涉及电极制备（以涂覆催化剂、还原、压制为主）、双极板制造（金属板以冲压、清洗、焊接、涂覆为主，石墨板以切片、浸渍、磨压、CNC 加工为主）、膜电极组装（以热压、贴合为主）等，此外，还包括电堆的封装、活化测试、氢燃料电池系统的装配以及相应环节的检验检测等，如下图所示。

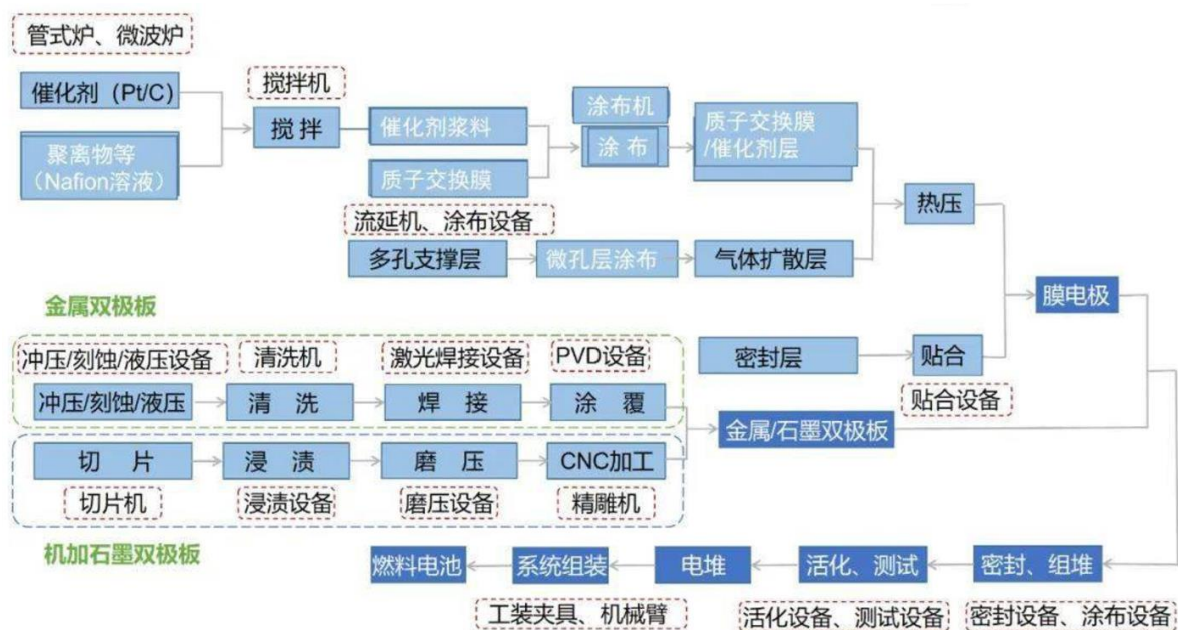


图 17 氢燃料电池生产工艺与设备简图

传统的制造装配模式基本采用手工，质控上采用自检+互检交错进行，已有大量事实证明人的准确度识别易受环境、自身状态及疲劳程度等因素的影响，在长时间高强度的工作过程中，人的注意力会急剧下降，极易引发装配质量事故。导致企业投入的人力成本较高、生产和装配效率低下、资源调度粗放、工艺过程质量管控困难，产品性能一致性难以保障。

在仓储管理方面，由于信息孤岛导致数据流与实物流存在不同步甚至滞后现象，容易引起人为差错，且无法追溯；传统的出库人工拣选效率低，且随着业务量上升，人工成本持续增加；依靠人工决定堆垛库位的方式导致库位利用率低，造成管理压力。在物料搬运方面，传统的搬运方式存在人工介入易出错、物料管理复杂、搬运流程低效、缺乏实时追踪、难以实现

自动化集成、人力成本高等问题。亟待通过信息技术和数字化升级，实现仓储物流的自动化和智能化，提升作业效率，减少人力需求，降低错误率，增强市场竞争力。

4.2.1 生产作业环节

（14）催化剂浆料制备工艺稳定性提升

催化剂浆料的分散度直接影响催化剂活性。企业可运用物联网传感器实时监测搅拌转速、温度及粘度，结合机器学习建立浆料流变特性预测模型。通过自适应控制算法动态调整分散时间与剪切力参数，利用显微图像分析系统在线评估颗粒团聚度，形成工艺参数自修正闭环。降低批次间浆料固含量波动率，提升催化剂负载一致性，节约生产成本。

（15）碳纸碳化工艺智能控制

针对碳纸碳化温度曲线对孔隙结构影响显著的特点，企业可部署高温红外热像仪实时监测炉内温度场分布，构建碳化工艺数字孪生体。通过深度学习预测不同升温速率对纤维石墨化程度的影响，动态调整温控曲线与气氛流量。结合 XRD 在线检测系统闭环反馈碳结晶度数据，提升碳纸导电率，降低工艺能耗，延长炉体等设备使用寿命。

（16）膜电极涂布成套装备生产线

膜电极涂布工艺需精准控制浆料厚度与均匀性。企业可集成高精度涂布机、红外干燥设备与机器视觉检测系统，构建智能闭环控制系统，实时调节涂布速度、温度等参数。基于搭建

的工艺知识库与深度学习模型预测涂层缺陷风险，动态优化配方参数组合。结合 MES 系统实现工艺参数自动下发与生产数据追溯，提升涂布良品率，缩短换型时间，支撑大规模连续生产。

(17) 涂覆工艺实时优化

针对涂覆均匀性与厚度精度要求高的痛点，企业可部署高精度涂布设备与在线光谱仪，实时采集浆料流变特性、涂布速度及干燥温度数据。通过数字孪生技术构建工艺参数-涂层性能映射模型，结合强化学习算法动态优化涂覆路径与工艺窗口，进一步控制膜电极催化层厚度偏差。同步集成 MES 系统自动下发参数指令，提升涂覆效率，减少材料浪费现象。

(18) 金属双极板柔性生产

根据当前氢燃料电池市场金属双极板多规格、小批量的生产需求，企业可通过部署模块化柔性产线，如集成激光切割、精密冲压等设备，搭载 AGV 与协作机器人实现工序衔接。基于数字孪生平台预演工艺路径，利用智能排产系统动态调整生产序列，结合快速换模技术与自适应夹具工装，快速完成产线换型。此外，还可通过订单数据驱动生产资源配置，实现多型号混流生产，提升产能利用率，缩短交付周期。

4.2.2 仓储物流环节

(19) 空压机产品智能仓储

企业搭建智能仓储管理系统，通过部署以立体库、AGV、智能分拣、WMS 等技术为代表的智能化仓储设备和系统，同时

使用 RFID、条码标签、二维码等精准标记识别各类物料，集成 MES、WMS 等系统数据，依据实际生产计划，实现物料自动入库、盘库和出库。另一方面，企业可以通过集成打通 ERP、MES 和 WMS 等系统，利用物联网、无线定位、识别传感等技术，实时跟踪零部件、半成品和成品在企业内部全程流转的位置和状态，实现对库存物品的精准追踪与管理，减少了库存误差和浪费。

（20）物料智能搬运

物料的智能搬运是实现智能制造及精益生产的必然趋势。企业应紧紧围绕物料搬运的高效性、准确性、安全性、运灵活性以及数据可追溯性等，通过应用 WMS 系统和 AGV 等智能物流装备，集成视觉/激光导航、机器学习和无线定位等技术，使物料搬运与生产管理连接、与设备数据对接，实时采集与反馈物料信息，通过动态调度，保障上下料件顺畅流转，实现物料搬运效率最大化。

4.2.3 质量管控环节

（21）质子交换膜耐久性测试与质量追溯

传统质子交换膜耐久性测试周期长，质量问题往往无法精准追溯至原材料批次。企业可以构建质子交换膜材料加速老化测试平台，集成湿热循环、机械疲劳等多工况模拟设备，通过传感器矩阵采集应力应变、电导率衰减数据。利用区块链技术记录原材料批次、工艺参数及测试结果，建立全生命周期质量

档案。结合 AI 模型预测膜寿命分布并反向优化设计参数，提升缺陷根源追溯准确率，缩短耐久性测试周期。

(22) 碳纸表面疏水处理质量管控

碳纸表面的疏水涂层均匀性直接关系到燃料电池的排水性能。企业可集成等离子处理设备与接触角测量仪，实时采集碳纸表面能、涂层厚度数据。通过机器视觉技术，识别微孔覆盖度，结合工艺知识库建立处理参数自适应优化模型。利用区块链+MES 系统实现 PTFE 溶液配比、处理时间等全流程追溯，精准控制疏水层接触角偏差，降低水淹故障率，支撑高湿度工况下的稳定运行。

(23) 零部件智能装配

围绕氢燃料电池系统零部件智能装配场景，可通过运用以下智能化、数字化的手段进行改造创新：一是装配计划智能排产，通过建立数学模型，采用先进排产调度的算法，自动给出满足多种约束条件的排产方案，优化装配计划排产；二是装配过程智能检测与分析，利用翻转机、高清工业相机等设备及 SCADA 等系统，实现对装配匹配度等数据的在线检测与分析。三是智能无人装配，结合自动化装配机器人等搭建柔性装配产线，实现无人化智能装配，提升装配效率和精准度。

(24) 零部件智能质检

企业可通过搭建智能在线检测系统，应用三维扫描仪等智能检测装备，融合缺陷机理分析、机器视觉和大数据分析等技

术，实现尺寸、表面缺陷、应力等在线检测和分析；构建质量管理体系，集成条码、标识和区块链等技术，采集原材料、生产过程、客户使用等信息，实现全过程质量精准追溯；通过模型训练、模型测试、模型下发等智能化质检自训练和自优化方式，精准发现装配中存在的已知质量问题，同时还能自我学习新的缺陷，实现产品质量的动态优化。

4.2.4 能源管理环节

（25）重点设备能耗运行监控

针对空压机、循环泵等高能耗设备，企业可部署物联网传感器实时采集电流、功率等运行数据，结合数字孪生技术构建能效评估模型。通过 AI 算法分析设备运行状态与能耗关联性，预测异常能耗点并自动优化启停策略，动态调节工艺参数。基于能耗数据驾驶舱实现碳排放可视化，联动生产计划调度系统，平衡效率与能耗，助力绿色低碳生产。

（26）整车企业生产能耗宏观把控

整车制造涵盖冲压、焊接等高耗能环节，企业可构建全域能源管理平台，集成电、气、氢等多能源数据，通过 AI 算法分析各车间能耗峰值与谷值规律。结合生产计划优化设备集群启停时序，利用余热回收、光伏储能等技术平衡能源供需。建立能耗 KPI 考核体系与动态预警机制，降低整车生产综合能耗，推动全链路碳足迹精细化管理。

4.2.5 工厂建设环节

(27) 加氢站数字化转型

目前已建成的加氢站中，存在人为介入环节较多、自动化程度较低、业务流程覆盖不全面、数据采集能力偏弱、管理端缺少直观的数据分析、与加氢车辆的数据对接不完善等问题。可通过提升站控系统数据采集能力，实现对全站工艺设备、安全管理、安防、采购、销售、作业管理、设备维护、备品备件等的全方位采集，实现全站数据查看和远程监控；通过优化车牌识别系统、加氢机系统、PLC 系统、供销系统的全方位对接，实现自动生成销售数据、自动发出采购申请，自动生成生产报表，降低人员工作量；通过各类数据信息，自主分析站内安全状况、作业环节管控、设备维保提醒、客户加氢需求等。

(28) 氢燃料电池企业园区数字化设计

企业园区可以通过搭建能量管理微网系统主机，集成与各充/放电系统的不同通讯接口，将各充/放电系统与微网主机建立通讯，实现监控、控制功能；在各个关键节点新增实时电表，根据电表数据对氢能发电、光伏发电、储能、电动汽车充放电等多种能源形式进行统一管理、统一调度；搭建微网展示、控制平台，实现 24 小时监测与远程故障诊断，降低运维成本。

4.2.6 解决方案建议

建议企业以数字化为基础，结合“协同机器人+5G+云计算”配合实施，构建高度灵活的个性化和数字化的智能制造系统。

通过全方位采集生产装配各环节数据并进行深度分析，利用数据分析结果来指导各环节的控制与管理决策，通过效果监测的反馈闭环，实现决策控制持续优化。通过研究装配工艺，合理规划装配流程，实现产品的智能化装配。产品质检方面，建议企业利用 AI、大数据等技术，搭建产品智能质检系统，实现对产品缺陷的自动识别、分类和评估。但在具体实施过程中，企业需要解决一些技术难点，如工业制造领域机器视觉应用中的高清图像传输对无线上行带宽要求过高的问题、基于神经网络算法及 MEC 边缘计算能力、多元化需求对算力要求等。

案例 3：氢燃料电池低压氢气子系统部件智能装配系统

某氢燃料电池零部件企业以数字化为核心，打造关键零部件智能装配体系。通过改造柔性传动流水线，集成六自由度协作机器人及自适应夹爪，构建“5G+云边协同”架构，实现传感器数据实时回传与 AI 算法动态优化；依托云平台训练机器人协作模型，结合 5G 低时延特性强化设备间实时交互精度，形成云-网-端一体化控制网络，同步打通 PLM 全生命周期管理平台，实现工艺参数自动下发与装配质量闭环管控。大大降低了工人劳动强度，提高了装配效率和质量。

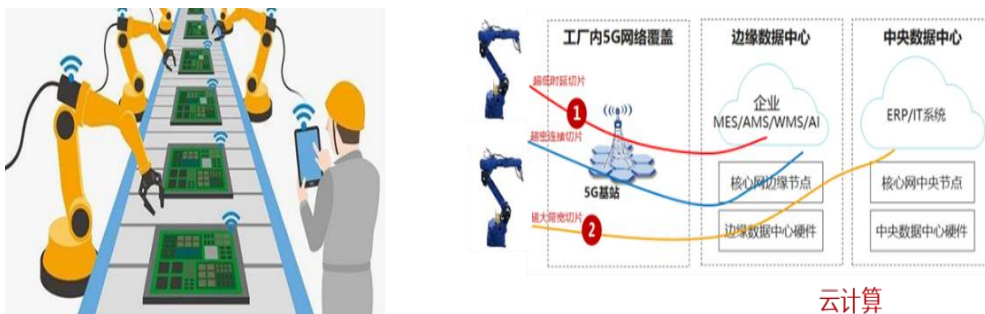


图 18 智能装配系统机器人+5G+云计算

案例 4：氢燃料电池低压氢气子系统部件 AI 智能质检系统

某氢燃料电池零部件企业为解决传统质检方式的缺点，进行了 AI 智能质检系统改造，包括视觉质检整体方案和视觉采集处理。将工业相机固定于智能装配产线上，对质检区的成品进行外观检测，并通过 MEC 边缘计算自动判定质检结果，并反馈给机械臂自动区分良品和次品；通过由 MEC 边缘计算、无损压缩 SDK、用户面功能、无损解压服务以及机器视觉应用组成的数据采集系统，实现上行高清图像数据 3 到 6 倍无损压缩，解决了机器视觉应用中的高清图像传输对无线上行带宽要求过高的难题；基于神经网络算法及 MEC 边缘计算能力，提升工厂柔性制造及运营效率；同时通过边缘部署使能机器视觉灵活扩展，适配多元需求，将算力下沉至边缘计算节点，提高质检效率，满足了企业在零部件制造中逐日攀升的自动化质检需求。

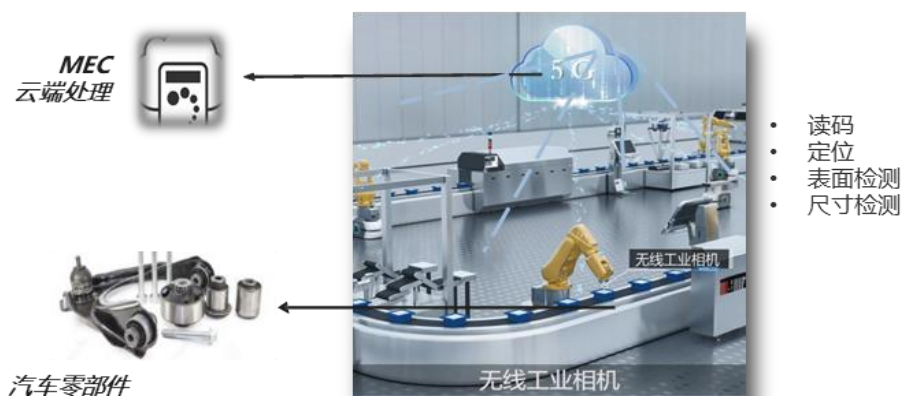


图 19 视觉质检方案实施

在仓储物流环节，建议企业构建智能化仓储系统，实现车间、仓库、物流无线网络全覆盖，单据、作业数据实时同步传输，系统可自动存储人员操作数据，统计作业数据、库存变化、空库位统计等。物料出/入库，按照 ERP 订单扫码到指定库位实发/实收，提升库位利用率。另外，建议企业在仓库、物流流程方面形成标准，实现人机结合，由系统分配作业任务，机器指导人员，操作形成标准；仓库人员在仓库作业范围与库区绑定，由系统根据规则规划好 AGV 搬运自动化小车的行走路径以及作业人员的行走路径。

案例 5：AGV 搬运自动化小车智能化改造

某氢燃料电池零部件企业为解决传统人工物料搬运过程中易出错、效率低、成本高等难题，通过对 AGV 搬运自动化小车进行智能化改造，使得 AGV 搬运自动化小车与生产设备数据对接，实时采集与反馈物料信息，将 AGV 搬运自动化小车物流系统融入到工厂智能制造系统中，由系统根据规则规划 AGV 搬运自动化小车的行走路径，实现物料搬运效率最大化；同时，由于 AGV 搬运自动化小车可以实现 24 小时连续工作，有效解决了企业招工难及人力成本高的问题。



图 20 AGV 搬运自动化小车

案例 6：氢燃料电池系统零部件智能仓储

某氢燃料电池零部件企业在仓储环节，考虑现场实际，采用高密度、支持多并发的 5530 与普通的 3825 网络 AP 形成阶梯式布局，最大限度保障现场全局网络环境稳定；供应商来货单和来货外包装都已实现标签信息化；仓库、物流一线人员由过去的按纸质单据拣货，升级为使用扫码设备和移动打印设备信息化拣货，杜绝错拿少拣的现象；仓库、物流的库位、托盘、货物标签都实现条码化标签转换；仓库和物流划分了精细库位，并张贴库位条码；针对不同仓库属性，差异性改造：收货仓、收货点、物流仓、包装台、装托台都进行了信息化改造；在物流销售包装环节，新增了固定包装台，配备了电脑、扫码枪和打印机，所有包装中的物料标签根据订单数量自动打印；在物流销售发货环节，舍弃过去人工勾单的模式，采用手持枪扫描物料组托出货，WMS 在完成出库扫描后，ERP 会同步完成销售出库单，并扣减库存。



图 21 智能仓储方案实施

在工厂设计环节，建议企业运用数字化协同设计软件，集成园区或工厂信息模型、制造系统仿真、专家系统和数字孪生等技术，进行园区或工厂的规划、设计和仿真优化，搭建统一的数字化交付平台进行园区或工厂的模型数据交付，打通设计、建设与运维体系，实现园区或工厂的全业务系统数字化管理。

案例 7：加氢站智能化改造数字化转型

某加氢站进行数字化功能开发。通过构建全方位安全监控系统、强化工艺设备运行数据监测和分析、自动进行数据分析并生成报表等数字化手段，随时掌握客户车辆用氢状况，实现预约加氢。开发的系统包含加氢站数据的展示，作业系统的监控和维护，增加报警功能、AI 智能识别功能以及氢联管理系统，完成了从加氢到车牌识别，再到加氢结束并进行结算支付，最终行程记录的一个完整过程。与过去相比，经过智能化改造和数字化转型，加氢站全站管理更加规范化、科学化，有效提升了数字化安全保障；减少了人员数据统计和分析，初步实现数字化生产；可视化管理增强，各级管理人员可随时查看生产状况；服务能力质量不断提升。

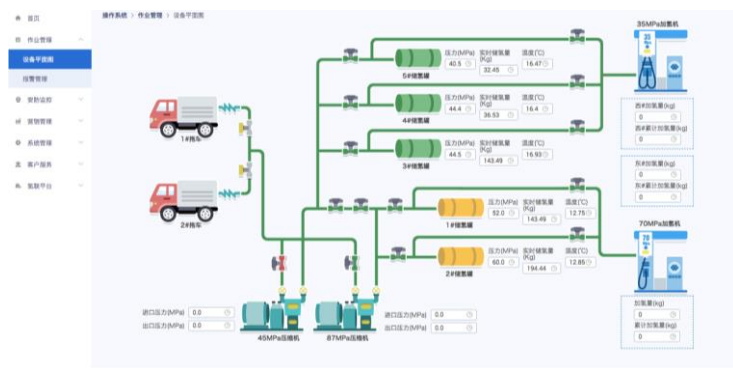


图 22 加氢站设备运行数据监测分析

案例 8：“氢光储充放柔检维管”微电网平台数字化转型

某氢燃料电池系统供应商基于所在园区内氢燃料电池系统、光伏车棚系统以及储能系统搭建了能量管理微网系统，实现氢能发电的动态消纳，通过氢燃料电池系统与 35.75kWp 光伏发电系统、200kWh 高效储能装置的深度融合，形成了绿色、智能、高效的能源生态系统。微电网平台建成后，总功率达到 951kw，供能面积约 3 万平方米，年发电量可达 13.5 万度，占园区全年用电量的 30%，每年可为园区节省用电成本约 15 万元，预计可实现碳减排 108 吨。集中管控平台好比是微网系统的智慧大脑，可根据氢能、光伏发电情况、厂区用能需求、对各个设备之间协同控制，实现高峰少用电，低谷无逆流，氢光储充放动态互济，既能响应电网短时的电力平衡需求，又可以带来更多的电量交易收益。同时通过大数据分析，预测能源需求，并制定最优的能源使用策略。



图 23 “氢光储充放柔检维管”微电网展示界面

4.3 供应链全环节

目前，我国已初步掌握了氢气制备、储运、加注、氢燃料电池系统及关键零部件的主要技术和生产工艺，积累了丰富的经验和产业基础。然而，现阶段我国氢燃料电池汽车产业仍处于发展初期，产业发展路径尚需进一步探索，尤其是针对氢燃料电池的供应链服务环节，主要存在以下主要问题：一是供应链成熟度不足，特别是在核心材料和关键零部件的供应方面，尚未实现完全自主可控，导致供应链的稳定性和可靠性面临挑战；二是产业链协同不足，氢燃料电池产业链涉及多个环节，包括制氢、储氢、运氢及应用等，这些环节之间缺乏有效的协同机制，导致整体效率不高；三是长距离、大规模、低成本的氢气储运系统有待突破，氢能的资源与需求在空间分布上不匹配，且目前氢能长距离长时间储运技术不够成熟、成本较高，制约了氢能的大规模生产与消纳。

4.3.1 供应链服务环节

（29）氢燃料电池系统供应商数字化管理

企业可以基于工业互联网平台，采集订单合同与生产消耗相关数据，通过大数据分析精准确定零部件采购需求，同时通过平台敏捷感知上游零部件市场价格变化，结合自身需求，实现原材料采购和外协加工的精益管理。此外，企业可基于与供应商的设备互联，建立供应商产能模型，搭建供应商管理平台，实现订单、物流、库存、排产的可视化展示，实时掌握产品的

关键制造流程，及时预警缺料信息、异常订单等。

（30）供应链风险预警与弹性管控

企业可以基于工业互联网平台等，利用大数据分析手段，将供应链业务过程中的成本、计划、配送、库存、质量等环节存在的风险隐患进行识别、定位，并进行有效处置，保证业务流程的科学柔性管理。

（31）氢燃料电池汽车定制化服务与供应链协同

面对客户对系统功率、氢耗、续驶里程等差异化需求，企业可构建“需求-设计-供应”一体化平台。通过客户交互界面采集定制参数（如电堆功率、储氢容量），利用 AI 模型生成最优配置方案并自动拆解为 BOM 清单。依托区块链技术打通主机厂、电堆供应商及零部件厂商数据链，实时共享设计与工艺要求，驱动供应商同步调整原材料规格与生产计划。通过数字孪生模拟定制车型的供应链履约路径，预判关键部件的产能瓶颈，动态分配多源供应商产能配额，缩短订单交付周期。

4.3.2 解决方案建议

氢燃料电池汽车行业供应链复杂，传统的供应链资源调配效率低下。建议企业基于大数据、区块链、AI 等数字化、智能化手段，通过采集供应链各环节数据，与供应商的库存信息进行快速交互，为有序生产运营提供支撑。支持有条件的氢燃料电池汽车行业头部企业构建完善氢燃料电池汽车产业链图谱平台，提供与氢燃料电池汽车行业相关的数据服务、供应链智慧

寻源服务以及产业链安全服务等，共同推动产业的高质量发展。

案例 9：氢燃料电池堆产业链图谱平台

某氢燃料电池电堆供应商通过组织产业链专家梳理构建产业链图谱的产品树、确认氢燃料电池堆产业链相关的数据源，完成数据采集，搭建图谱数据处理平台，包括数据模型构建、知识抽取融合、数据校验、数据存储更新等能力，基于产业链图谱数据，搭建智慧寻源、产业链安全、供应链风控应用服务。基于图谱平台提供的智慧寻源服务，可以帮助企业快速查询氢燃料电池堆产业链上下游供应商、产品、设备等信息；基于图谱平台提供的产业链安全服务，可以帮助企业分析国内外氢燃料电池堆产业节点的供应商结构，对非自主可控节点进行特殊标识；基于图谱平台提供的供应链风控服务，可以帮助企业以大宗原材料价格波动、供应商重要信息变更为基础，沿着产业链传导供应链风险信息，开展氢燃料电池堆供应链风险隐患识别和预警等。



图 24 氢燃料电池堆产业链图谱平台网站首页

案例 10：基于区块链的供应链可视化应用

某企业搭建供应链管理平台，与 ERP、PLM、WMS、OA、QMS 系统进行集成，打通上下游企业的数据，实现供应链端到端的全过程管理。通过区块链技术，将供应链业务活动中的需求、产能、订单、物流、库存等相关指标信息进行采集、传递、存储，并在平台中共享，提高供应链的透明度和可控性。通过对不同供应商的库存、产能等信息进行收集，结合大数据技术，运用数据建模，提高订单分配的准确性，降低供应商临时供应短缺风险，提升订单准时交付率。同时，根据不同业务管理需求制定多个管控模型，以图形化的方式进行展现，实现供应链可视化监控和分析。

五、路径与方法

5.1 实施路径

为加快推动氢燃料电池汽车行业智改数转网联实施，在已发布的相关标准规范基础上，鼓励标准化组织、行业协会、社会团体、重点企业围绕智能化改造数字化转型逐步建设覆盖典型应用场景的标准化体系，加强标准宣贯、应用服务和实施效果评估，支撑和引领行业发展。

聚焦氢燃料电池汽车行业智能化改造数字化转型网络化联接实际需求，加快推进工艺技术、智能装备、工业软件创新和应用；以中间产品智能化为突破口，加快建设一批典型智能化单元、智能化生产线和智能车间；培育壮大江苏省氢燃料电池

汽车行业新模式、新业态，增强行业发展新动力。坚持结果为导向、分阶段推进实施智能化改造数字化转型网络化联接工作。

（1）总体实施建议

企业推进智改数转网联需要结合企业当前的基础，从产品研发设计环节、生产制造环节、运营管理环节、基础支撑环节实现集成与打通，总体上来说，智改数转网联的实施建议主要包括以下几个方面。

1) 做好总体规划

通过智改数转网联现状评估，理清企业的业务流程、工艺流程、运营管理等现状，梳理企业现有数字化、信息化、技术、设备等资源情况，了解各环节实际需求，明确企业核心需求和转型方向（对于大型企业，依托自身优势，统筹产业链上下游，对于中小型企业，依托外部资源，借助外部力量，打通各环节数据流），做好适合企业自身的顶层规划设计，制定出总体系统架构和实施路径，画出清晰的智改数转网联路线图，根据路线图和整体规划，稳步推进具体实施项目，注重对每个智改数转网联项目明确其 KPI 指标，在关键绩效指标的基础上，评估是否达到预期目标。从总体上规范化制造流程、标准化制造数据，打通各环节数据，推进信息系统互通互联，有效地运用各类信息技术和资源，控制节奏，优化物资采购配送，减少能源消耗，降低项目工时和成本。

2) 推动技术改造

近年来，制造业的新材料、新技术、新工艺层出不穷。材料和工艺的改进往往会对产品性能带来巨大的提升。在分析企业现有技术、工艺、材料及装备的基础上，对现有设备、工艺条件、传统技术等进行升级改造，提高生产率、推进节能减排。在研发设计环节，实现设计数字化，配置合理的数字化三维设计与工艺设计仿真等软件进行产品及工艺设计与仿真，优化生产工艺，应用 PLM 系统进行数据管理；在生产制造环节，优化管理，扩大智能装备应用，实现生产管控数字化、智能化，研制或购置高端数控设备、AGV、机器人等，构建自动化生产线、智能车间，以虚拟仿真技术辅助加工，以数字孪生技术构建智能车间，研发智能制造支撑软件，建立生产全要素实时管控的制造执行系统（MES）、企业资源管理系统（ERP）、基于物联网的智能标签位置管理系统、自动化制造系统、设备数字化管理及自动在线监测等管控平台；在运营管理环节，开发工程可视化系统、数字孪生工厂，获取海量数据，利用大数据技术进行分析和决策，消除生产中的不合理性，构建供应链管理系统（SCM）、客户关系管理系统、成本核算平台等；同时，构建企业信息通信网络，实现作业区域网络全覆盖，构建企业信息管理系统，对数据资源进行统筹管理。

3) 实现流程优化

在分析现有流程（生产设计流程、制造流程等）的基础上，

建立流程路线图，整理和优化流程节点，如优化生产计划，优化建造物流管理，减少生产过程中零部件及材料再订货、制造、交货等环节的浪费，推动地区配套供应商之间的订货、制造、采购网络化、一站化，升级现有设备，改进工艺流程，实现精益管理。

4) 保障人才培养

人才是企业智改数转网联的成功之本。在智改数转网联时代下，单一技术能力已经很难适应现代技术的发展，技术人才，尤其是高端技术人才除了要具备智改数转网联通用知识体系外，还应具备知识和技术的融合能力、以智改数转网联的手段推动业务发展的前瞻能力，以及能突破原有思维跨界寻求解决方案的创新能力。企业推进智改数转网联需要实用型、高层次、专业型人才，需要精益化、数字化、智能化复合型人才，通过建立和优化人才保障机制，推进产教融合、校企合作，培养有助于推动企业发展的智改数转网联人才。

(2) 差异化建议

氢燃料电池汽车企业因自身发展阶段以及所处产业链的位置不同，对智改数转网联有不同的焦点，需要选择不同的实施方案。一般而言，对于初创期公司，主要是关注氢燃料电池的初期研发和试制，数字化转型的重点在于后期的数字化规划和合作伙伴的选择，为量产能力的保障做数字化准备。对于形成初步产能的企业，公司的主要问题是扩展产品市场，扩大产能，

摊薄产品成本。处于这个阶段的公司，智能化改造、数字化转型和网络化联接的焦点会持续停留在制造领域。但同时，也开始面临产品迭代的竞争和压力。对于规上公司，已经形成了良好的量产能力，如何持续降低成本，提升研发能力成为转型的重点。对于头部企业，保持产品技术的领先性，并且构建供应链生态体系能力是转型的目标。

如表 1 所示，构建江苏省氢燃料电池汽车行业“智改数转网联”实施建议表。表中纵、横向栏目及内容没有严格的逻辑分割、递进、重要与否等关系，如企业数字化既是基础也是高阶要求；但表内工作重点内容有逐级叠加关系，为避免重复，规模上级企业工作重点涵盖下级。

表 1 江苏省氢燃料电池汽车行业企业“智改数转网联”实施建议表

企业类型		民营中小/加工配套	专精特新/主业突出	龙头骨干/行业领军
方向与重点				
基础化保障	精益管理措施	行业贯标，体系认证，生产安全、能源、设备、质量、仓储、信息安全等管理		
	实时监控手段	安全、能耗、关键设备	人、机、料、法、环全面质量管理	生产、管理、经营综合可视化
	工具软件系统	CAD/CAE	CAM/CAX/CAPP	IPD/MBD/DT
智能化改造	智能装备应用	AGV/RGV/机械臂上下料	机器人上下料加工单元；数字化中央刀库和大数据监测预警刀具在产健康状态；在机在线测量并实时刀具补偿、工艺优化	AMR/复合机器人移动加工、装配、检测；智能仓储和物料、物流周转系统；数字化工装夹具复用中心
	智能化改造级别	工序/工位 & 生产级	单元/车间 & 管理级	产线/整厂 & 运营级

企业类型		民营中小/加工配套	专精特新/主业突出	龙头骨干/行业领军
方向与重点				
数字化转型	多源数据采集	水/电/气/温/压/监控/考勤等	DNC/MDC/PTL/RFID/图像和视觉等	SCADA
	多源数据开发	产销业务流	交付质量流	大数据和人工智能技术
	工业互联级别	PLC、APP级	局域网、系统级	平台、云级
	工具软件系统	ERP基础功能	ERP/MES/MOM/PDM/QMS	B2B/CRM/PLM/WMS
网络化联接	业务协同范围	产供销一体化	设计制造一体化	运管维一体化
	工具软件系统	APS基础功能	APS/IPD/SRM/SNC	EAM/EHS/EMS/PHM

5.2 相关政策

(1) 诊断评估

1) 两化融合线上评估

基于《工业企业信息化和工业化融合评估规范》（GB/T 23020-2013），利用国家两化融合公共服务平台江苏省分平台（网址为 <https://jspg.cspiii.com>），开展两化融合及数字化转型重点指标自评，从而客观掌握企业自身数字化水平基本情况。

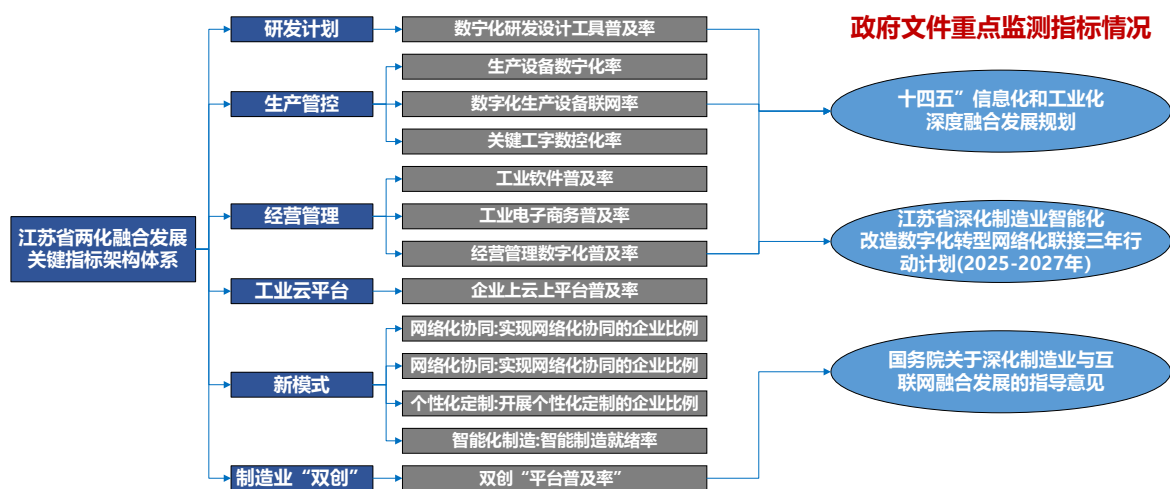


图 25 两化融合自评指标体系

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。

2) 两化融合管理体系贯标

两化融合管理体系系列标准是推动企业数字化转型的国家标准，主要致力于为企业数字化转型提供从发现问题到解决问题的全程服务，解决具体执行过程中方法工具支持、解决方案实施、管理机制落地、成效跟踪优化等问题。两化融合管理体系系列标准如下表所示。

表 2 两化融合管理体系系列标准

序号	标准名称	标准级别	标准编号	发布日期
1	《工业企业信息化和工业化融合评估规范》	国家标准	GB/T 23020-2013	2013-09-18
2	《信息化和工业化融合管理体系基础和术语》	国家标准	GB/T 23000-2017	2017-05-22
3	《信息化和工业化融合管理体系要求》	国家标准	GB/T 23001-2017	2017-05-22
4	《信息化和工业化融合生态系统参考架构》	国家标准	GB/T 23004-2020	2020-09-29
5	《信息化和工业化融合管理体系新型能力分级要求》	国家标准	GB/T 23006-2022	2022-03-18
6	《数字化转型参考架构》	团体标准	T/AITRE 10001-2021	2021-12-14
7	《数字化转型价值效益参考模型》	团体标准	T/AITRE 10002-2020	2020-12-01
8	《数字化转型新型能力体系建设指南》	团体标准	T/AITRE 20001-2021	2021-12-14

两化融合贯标流程如下图所示，贯标方式包括三种，一是自行贯标，适合工业化与信息化基础较好，有前期贯标基础和人才的示范企业。二是委托第三方贯标服务机构指导开展贯标，适合于工业化与信息化基础比较薄弱、信息化人才匮乏、初始投入有限、初次贯标企业，特别是中小规模的企业。三是课题研究式贯标，对大型的集团企业，可以将不同级别的分级贯标建设作为研究课题，联合联盟、咨询机构或评定机构进行课题研究，待研究成果成熟后再在下属单位进行成果转化推广。



图 26 两化融合贯标流程

3) 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。

企业可以通过线上线下相结合的方式展开诊断对标，线上（网址 <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。线下可邀请评审专家进行深度诊断，将评估发现和行业进行对标并提供咨询建议，最终形成线下深度诊断报告—包含企业发展现状和问题清单等单。

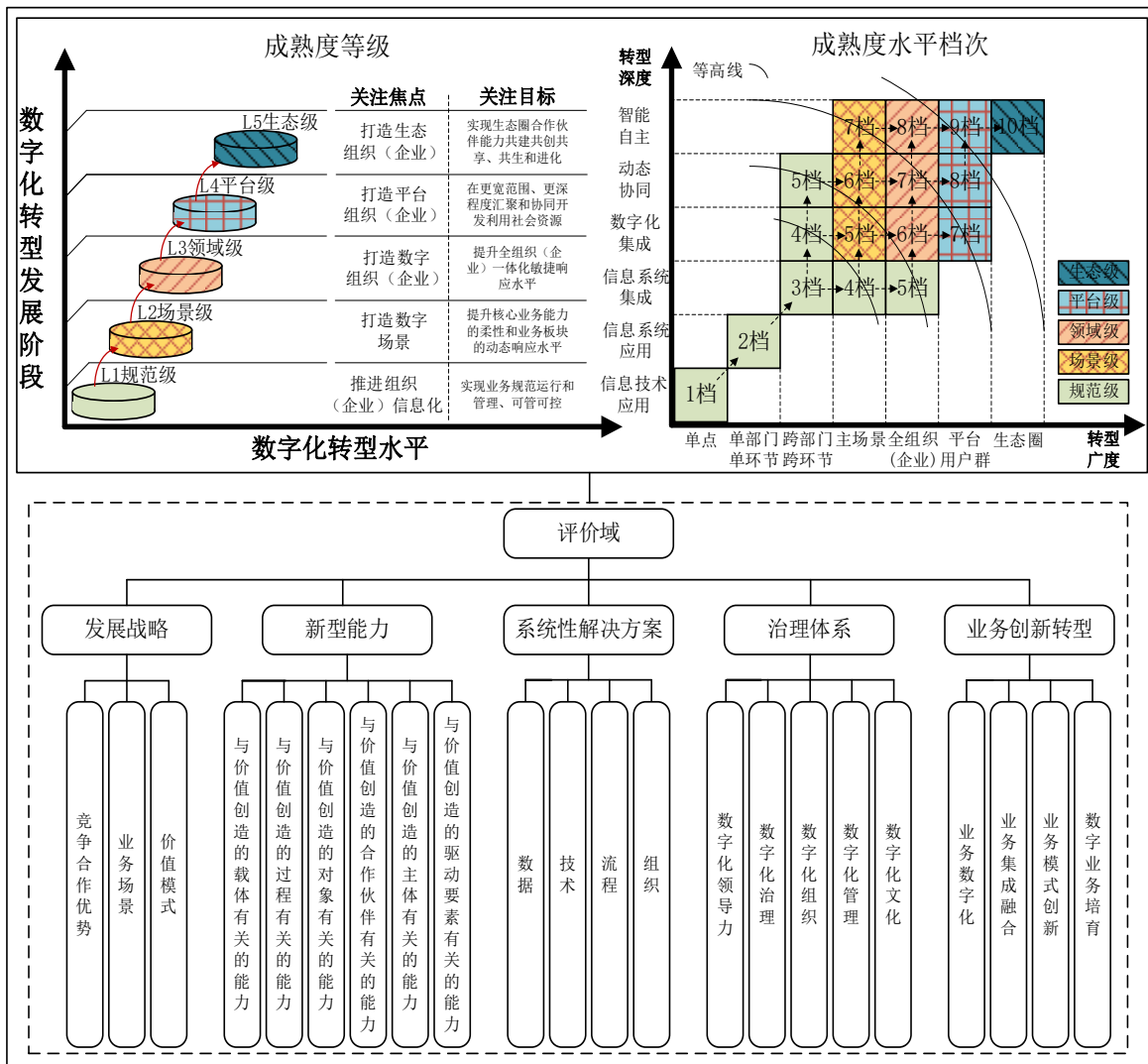


图 27 数字化转型成熟度模型

4) 智能制造能力成熟度评估 (CMMM)

智能制造能力成熟度模型 (China Manufacturing Maturity Model, 简称 CMMM), 是由中国电子技术标准化研究院推出的、用于实施智能制造过程改进提升的成熟度评估模型。《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 (网址 <https://www.c3mep.cn/>) 开展智能制造能力成熟度自评估。通过自评估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。

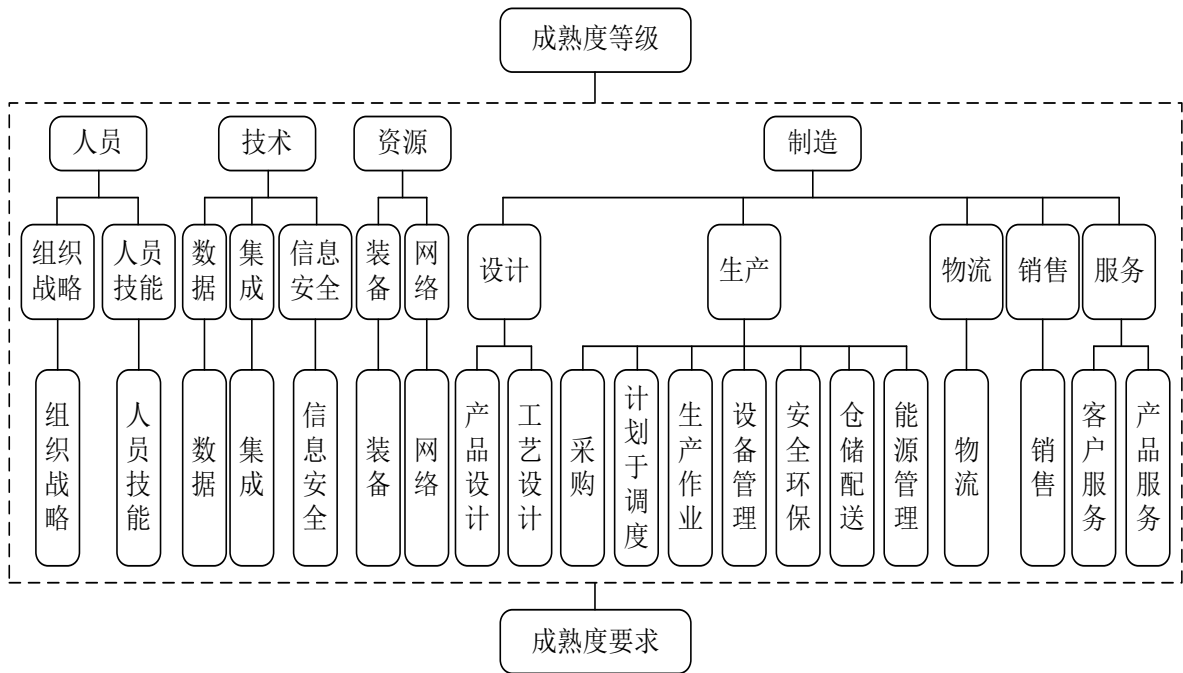


图 28 智能制造能力成熟度模型

5) 数据管理能力成熟度评估 (DCMM)

数据管理能力成熟度评估模型 (Data Management Capability Maturity Assessment Model, 简称 DCMM), 是我国首个数据管理领域国家标准, 将组织内部数据能力划分为八个重要组成部分, 描述了每个组成部分的定义、功能、目标和标准。该标准适用于信息系统的建设单位, 应用单位等进行数据管理时候的规划, 设计和评估。也可以作为针对信息系统建设状况的指导、监督和检查的依据。

企业可通过登录全国 DCMM 评估公共服务平台 (网址 <http://www.dcm.org.cn>) 进行在线自评, 后提交 DCMM 评估申请, 由评估机构进行 DCMM 评估。评估流程如下图所示, 省工信厅和各设区市工信局将对参与 DCMM 评估的企业, 给予服务或奖补支持。

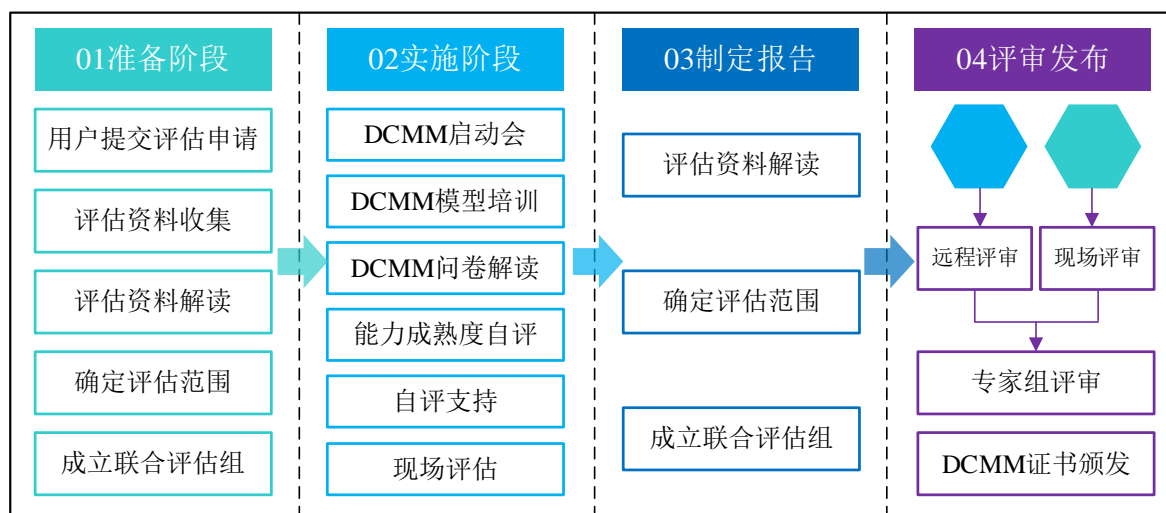


图 29 DCMM 评估流程

(2) 智能化改造

1) 江苏省智改数转网联咨询诊断公共服务平台

江苏省智改数转网联咨询诊断公共服务平台（网址 <https://www.eqiyun.cn/>），是集聚制造业智能化改造、数字化转型和网络化联接服务商的平台，促进企业与服务商之间的供需对接。服务资源汇聚十大类服务商：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、智能装备服务商、网联建设服务商和系统集成（软件）服务商。服务商在平台开设店铺展示产品，制造企业可以高效获取服务商信息和服务能力。

平台同时汇聚智改数转网联解决方案，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 30 江苏省智改数转网联咨询诊断公共服务平台

2) 企业上云

“企业上云”是指企业通过向云服务商租（购）数字化转型工具和服务，将企业的基础设施、设备、系统、业务、平台等

部署到云端，利用网络便捷地获取计算、存储、数据、应用等资源或设计、生产、物流、销售、服务等专业能力；业务上云和设备上云是江苏省企业上云工作开展的重点方向。

江苏省工信厅每年开展“星级上云”企业评定工作。上云企业按照不同建设目标和要求，根据上云实践、上云内容、上云成效等多个方面，评定企业上云的星级。如省工信厅网站发布的《关于组织开展 2024 年度第二批省星级上云企业遴选工作的通知》。

表 3 企业上云星级对比

	三星级上云	四星级上云	五星级上云
面向对象	中小微企业	工业基础较好的企业	龙头企业
部署模型	公有云	公有/私有/混合云	公有/私有/混合云
关注重点	各类场景云化软件的开发和应用	工业设备的联网上云	数据+模型的创新应用
作用	引导企业通过购买公有云服务，以较低的成本实现基础云服务应用，实现普遍性、通用性的数据和业务上云，加深企业对上云的认识。	鼓励工业设备接入云端，结合边缘侧对数据处理和分析，获得云端设备服务，提升上云质量。	为行业提供标杆和模板，发挥龙头企业在行业的示范带头作用。

3) 工业信息安全防护星级企业培育

培育工作通过检测评估、咨询诊断和整改提升等流程，提升企业安全防护能力，帮助企业实现星级达标（工控安全防护基础建设级或平台安全防护基本级及以上等级）或星级提升。2024 年度培育工作发布于省工信厅网站，详情可见《关于开展江苏省 2024 年度工业信息安全防护星级企业培育工作的通知》。

培育工作优先在各类信息化基础较好的工业企业和工业互联网平台企业中遴选。积极鼓励近年来获得国家、省、市工信

部门认定的各类信息化基础较好的工业企业和工业互联网平台企业参加培育工作。企业需进行的流程有：

①企业自评估。各设区市工信局组织企业在江苏省工业信息安全公共服务平台（网址 <https://www.jsgyaq.com>）—“风险评估”模块填报企业相关信息，各设区市工信局组织本地区的自评估咨询服务机构，指导企业开展自评估相关工作。

②整改提升。服务机构对完成自评估的企业开展线上核查评估，并根据企业自评估安全防护状况给出整改建议。企业根据整改建议进行对标整改，整改后将整改情况从平台提交。

③现场核查。结合企业自评估和机构线上核查评估情况，省工信厅指定专业服务机构对重点企业开展现场评估，为企业提供专业诊断服务并帮助提升。

省工信厅将根据线上核查评估和现场抽查评估结果，确定安全防护星级企业名单。

4) 工业互联网标识解析二级节点

工业互联网标识通过一系列规范编码赋予标识对象唯一的“数字身份证”，通过解析系统实现跨国家、跨地域、跨行业、跨企业的信息互联互通。

建设流程分为七步：

①确认建设主体。标识解析二级节点建设主体一般为行业龙头企业，或关联企业组建的联合体。

②明确建设方案。建设方案包含三个核心部分：一是节点

平台技术架构与部署方案；二是节点平台运营计划（标识产品和业务是什么，标识应用怎么拓展、对谁提供服务）；三是节点平台投入计划（有明确的投入计划保障平台能够持续运行）。

③专家评审。申请人将申请材料提交至省工信厅，评审委员会对申请材料进行初审，审查内容包括对申请表、建设方案、业务规划方案、网络安全保障方案、服务承诺书等文件的资格性及符合性审查，审查通过的提交至工信部进行详细评审。

④签订协议。省工信厅及工信部评审通过后，申请人和中国信息通信研究院签订二级节点建设协议。

⑤部署实施。签订二级节点项目建设实施合同，进行系统部署和调试。在基础环境确定的情况下，实施系统部署大约需要 2-3 周时间。

⑥对接顶级节点。系统部署后，启动顶级节点的对接程序，根据顶级节点的要求进行系统测试和考察，完成系统对接和资源权限的开通。

⑦持续运营。标识解析二级节点的重要任务是保障标识节点平台的稳定性与可用性，推动行业企业接入和应用标识，需专门团队持续运营。

（3）部省专项资金、试点示范

1) 国家级专项资金

自 2017 年我国大力推进工业互联网创新发展以来，工业和信息化部每年发布“工业互联网创新发展工程”项目公开招标，

项目资金来源为中央财政资金，招标人为工业和信息化部主管司局。2022年工业互联网创新发展工程-工业互联网数字化转型促进中心项目（2024年度）包括工业互联网边缘计算应用支撑能力验证系统升级、异构边缘控制互通性验证系统、工业互联网资源协同试验系统、智能机器人模仿学习系统、工业互联网数据和资源集成中台升级、工业互联网产业资源集聚及推广系统升级等项目。投标人的专项申报项目基本情况表须经省工信厅盖章推荐，投标人注册地、项目主要建设内容所在地均应在江苏省内。

2) 国家级试点示范

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新一代信息技术与制造业融合发展试点示范项目。围绕深化新一代信息技术与制造业融合发展，聚焦“数字领航”企业、两化融合管理体系贯标、特色专业型工业互联网平台等方向，遴选一批试点示范项目，探索形成可复制、可推广的新业态和新模式，为制造业数字化转型注入新动能。

②工业互联网试点示范项目。围绕新技术类、工厂类、载体类、园区类、网络类、平台类、安全类 7 大类 24 个具体方向，遴选一批工业互联网试点示范项目。

③工业互联网平台创新领航应用案例。聚焦工业企业数字化转型面临的关键问题，围绕平台化设计、数字化管理、智能化制造、网络化协同、个性化定制、服务化延伸等六大应用模式，征集遴选一批技术先进、模式创新、成效显著、易复制推广的工业互联网平台创新领航应用案例。

④智能制造示范工厂。遴选一批智能制造优秀场景，以揭榜挂帅方式建设一批智能制造示范工厂，树立一批各行业、各领域的排头兵，推进智能制造高质量发展。

⑤国家新型工业化产业示范基地。示范基地申报分两个系列，即规模效益突出的优势产业示范基地和专业化细分领域竞争力强的特色产业示范基地。申报领域主要包括装备制造业、原材料工业、消费品工业、电子信息产业、软件和信息服务业、高技术转化应用，以及其他领域（产业转移合作、大数据、云计算、数据中心、工业互联网等）。

3) 省级专项资金

江苏省工信厅每年统筹制造强省建设专项资金项目（原工业和信息产业转型升级专项资金项目），2024年3月省工信厅发布《关于组织2024年度江苏省制造强省建设专项资金项目申报的通知》，专项资金重点支持四大方向：重点产业技术创新、智改数转网联、产业转型升级、服务体系建设。

项目申报采取网上申报，进入江苏省工业和信息化厅旗舰店（网址 <https://www.jszfw.gov.cn/col/col140127/index.html>），

点击“江苏省制造强省建设专项资金项目管理系统”（原省级工业和信息产业转型升级专项资金项目立项审核）进入申报页面。项目申报主体在线填写《2024年度江苏省制造强省建设专项资金项目申报表》，并上传其他申报材料。由各设区市、县（市）工信部门审核本地区项目材料并推荐报送至省工信厅。

4) 省级制造业“智改数转网联”示范企业认定

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，如省工信厅发布的《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》。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智能制造示范车间。为引导企业加大智能化改造投入力度，切实提升企业智能制造水平，企业对照智能制造示范车间申报条件进行自我评价，填报智能制造示范车间申报书，并按要求提供能够反映企业智能车间建设情况的附件材料。详情可参考《江苏省制造业智能制造示范车间培育和建设指南》。

②智能制造示范工厂（含5G工厂、工业互联网标杆工厂方向）。重点围绕我省先进制造业集群和优势产业链建设，支持企业应用自主创新产品、技术、装备、软件等建设省智能制造示范工厂，提升制造业发展质量、效益和本质安全水平。申报企业需具有良好的智能制造基础，通过智能制造数据资源公共服务平台开展智能制造能力成熟度自评估，达到国家标准《智

能制造能力成熟度模型》（GB/T39116-2020）二级或数字化转型成熟度二级或中小企业数字化水平二级或两化融合水平三级，并已获评省智能制造示范车间。详情可参考《江苏省制造业智能制造示范工厂（含5G工厂、工业互联网标杆工厂方向）培育和建设指南》。

③“智改数转网联”标杆企业。根据《江苏省工业互联网标杆工厂建设指南》，企业须从产品、生产和供应链三个维度打造“智改数转网联”典型场景，且在智能制造、数字化转型、工业互联网等领域建成多个国家和省级试点示范。同时能够应用新一代信息技术，在平台化设计、智能化制造、网络化协同、个性化定制、服务化延伸、数字化管理等方面培育新业态新模式，推动企业生产方式和组织形态变革，为行业创新发展塑造模板典范。详情可参考《江苏省制造业“智改数转网联”标杆企业建设指南》。

④省重点工业互联网平台（含企业级、行业级、区域级、双跨级）。申报单位可根据自身实际情况，围绕“平台基础建设能力”、“平台服务能力”、“平台应用成效”三个维度进行自评估，选择相应类别进行申报。企业级重点聚焦工业设备设施改造、研发设计、生产管控、经营管理、客户服务等活动的数字化和集成互联；行业级聚焦原材料、装备、汽车零部件、电子信息等垂直行业；区域级（主要指工业园区、高新技术产业开发区、经济技术开发区、特色产业园区、出口加工区、保

税区等各类园区) 聚焦制造资源集聚程度高、产业转型需求迫切的园区; 跨行业跨领域工业互联网平台面向化工、钢铁、机械装备、轨道交通、汽车、电子等重点行业和研发设计、生产制造、运营管理、仓储物流、运维服务、安全生产、节能减排、质量管控等重点领域, 聚焦连接设备、软件、工厂、产品、人等工业全要素。详情可分别参考所对应的《江苏省级重点工业互联网平台建设指南建设指南》。

(4) 重要供需对接活动

1) 世界智能制造大会

2024 世界智能制造大会以“加快打造智能制造升级版, 因地制宜发展新质生产力”为主题, 于南京市举行, 大会秉持“高端化、国际化、专业化、体系化”办会思路, 广邀国内外智能制造领域各界精英, 举办 1 场主题大会、1 场重大签约活动以及 15 场专题活动。“国际国内智能制造发展的新趋势和成果”“第四届智能制造创新大赛创新成果”集中亮相, 相关机构对国家智能工厂梯度培育行动、国家智能制造解决方案揭榜挂帅项目、国家智能制造标准体系进行了解读。

大会深入聚焦智能制造装备、工业软件以及智能制造解决方案融合创新, 以推动实现产品全生命周期、生产制造全过程和供应链全环节效益提升为目标, 策划举办 2024 智能制造科技进展交流、2024 智能制造发展与未来路径、智能制造产业人才、金融赋能“智”造强省等一系列涉及融合创新的专题活动, 来

自智能制造领域的一批国内外院士专家，国内外制造业龙头企业以及金融界代表将围绕智能制造人才培养、技术创新、示范应用、未来发展等相关热点话题进行深入交流，共话智能制造发展新趋势，共谋智能制造发展新合作。

2) 中国（南京）软件产业博览会（软博会）

2024 中国（南京）软件产业博览会由江苏省工业和信息化厅、南京市人民政府主办，是国内领先的集新品发布、产品交易、行业交流、项目对接等功能于一体的综合性软件行业专业盛会，其前身为中国（南京）国际软件产品和信息服务交易博览会。自 2005 年起，经过连续 19 年成功举办，已成为全国软件产业品牌展会和对外窗口。本届展会以全面市场化运作模式，打造“1+2+4+x+n+云上”的展会框架体系，重点展示国际国内软件产业发展最新进展，围绕软件产业前沿创新成果，共同探讨产业战略布局。大会聚焦信息技术应用创新、信息安全、未来产业、产业数字化等关键领域，通过新技术新产品展览、论坛研讨、商务洽谈等系列活动，搭建软件和信息服务企业与用户之间的交流合作平台，推动新一代信息技术与实体经济深度融合。南京软博会已累计参展商 15000 多家、参展国家和地区 90 多个、参观人次超过 110 多万人次，已成为软件产业创新和对外开放的重要平台、国内软件行业的“风向标”。

3) 长三角数字化转型大会

长三角数字化转型大会于 2024 年 10 月 17 日在南京举行。

本次大会由省工信厅指导，数字长三角共建联盟主办，江苏省企业信息化协会承办。大会以“向新求质数写智造”为主题，设有1场开幕主论坛、4场主题分论坛，通过开展长三角工业互联网平台、智能工厂等数字化转型建设标准交流研究，探索长三角数字化转型统一标准体系建设，促进长三角地区智能装备、平台、网络安全等领域服务商发展，加强跨地区对接合作。大会会议期间，来自三省一市标杆示范企业信息化负责人、首席数据官（CDO），以及政府部门代表、行业专家等，围绕数字化转型赋能升级、融合发展、创新驱动、标杆引领等方面分享实践经验，展示长三角地区在智能制造、工业互联网和数字化转型建设方面取得的最新成果，探讨当下制造业数字化转型发展态势，共同推进长三角区域数字经济的高质量发展。

4) 江苏省智能制造系统解决方案大会

第三届江苏省智能制造系统解决方案大会于2024年9月10日在苏州举行。本届大会以“数智江苏新质发展”为主题，汇聚了政产学研用等领域400余位代表，共探数字经济与智能制造发展新路径。大会发布了《2024全球数字经济高地图谱》，系统梳理全球数字创新案例，为产业转型提供新视角。江苏省区块链测评中心与省区块链产业培训基地达成战略合作，将在区块链、元宇宙等领域开展技术研发与人才培养。分论坛围绕数字经济与智能制造展开深度研讨，与会专家聚焦数字化人力资源管理、信息安全等场景，深度解析产业数据资产化路

径，剖析转型机遇与挑战。

（5）中小企业扶持政策

1）省级专精特新中小企业申报认定

专精特新中小企业认定是全国范围内对创新型中小企业的重要扶持政策。省工信厅每年组织开展相关申报认定工作，如2024年10月发布的《关于组织开展2024年度省级专精特新中小企业申报认定（第二批）和2021年度省级专精特新企业复核工作的通知》。

申报企业须为中小企业，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，且经各设区市公告并报省工信厅备案的创新型中小企业。优先推荐属于“1650”产业体系重点领域企业。

企业申报及审核流程为：

①企业申报。申报采取线上填报与线下报送相结合的方式。进入“江苏政务服务网—江苏省工业和信息化厅旗舰店”（<https://www.jszwfw.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》。

②审核推荐。各设区市工信部门对照条件对企业申报材料进行初审，重点审核独立法人地位、企业规模、所属领域、产品核心竞争力和市场占有率、产业链配套能力以及有无环境、

质量、安全等方面违法记录等。

③审核认定。省工信厅将按程序组织对各地推荐申报的企业进行形式审查、专家评审等综合性审核后，择优确定认定企业名单。认定结果将在省工信厅门户网站进行公示公告，有效期为3年。

2) 中小企业上市培育

江苏省工信厅每年组织开展多场省重点产业链优质中小企业上市培育活动。活动内容丰富，主要包括：

①专家讲解资本市场形势，包括发行监管政策解读、新三板政策解读、科创板审核要点解读及案例分析。

②拟上市企业操作实务，包括改制辅导及全流程解读、股权激励实务。

③标杆企业走访。

④企业其他融资策略分析，包括路演模拟、案例分析。



图 31 江苏省中小企业公共服务平台

中小企业可以访问江苏省中小企业公共服务平台（<https://www.smejs.cn/>），点击“获融资”查询相关产品（专精特新特色产品、普惠金融产品、政策性金融产品）和各类融资促进政策。

3) 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（网址 <http://caii-sme.industryforce.com/#/home>）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。



图 32 中小企业数字化转型公共服务平台

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。

（6）智改数转网联相关政策梳理

国家层面，工信部等部委以制造业智能化改造、数字化转型为引领，推动重点行业加快研发设计、生产制造、经营管理、市场服务等全生命周期的转型升级。

省市层面，一是围绕公共云服务创新平台建设带动企业数字化转型、制定智能制造示范标准制定，支持企业智能制造示范工厂、示范车间开展荣誉资质认定。二是持续扩大奖补类政策扶持力度，主要包括：针对智能化改造项目，按照项目投资额的一定比例给予资金支持；部分省份还开展银行贷款贴息扶持；针对数字化、智能化示范工厂和车间建设，给予一次性资金奖励；针对公共服务平台数字化建设项目，按照项目额度一定比例或者直接给予一次性资金奖励等。

表 4 部省级智能化改造数字化转型相关政策梳理

序号	政策名称	发布单位	发布日期	主要内容
一、国家宏观政策引导				
1	《制造业数字化转型行动方案》	国务院	2024.05	推动制造业数字化改造，支持工业互联网平台、5G工厂和行业标杆示范。
2	《关于组织开展2024年制造业新型技术改造城市试点工作的通知》	财政部 工信部	2024.04	支持重点城市开展智改数转示范，中央财政对氢能等新兴产业技术改造项目给予补助。

序号	政策名称	发布单位	发布日期	主要内容
3	《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	工信部等七部门	2024.01	将氢能与储能、智能网联新能源汽车列为重点方向，支持数字化研发平台建设。
4	《关于开展2023年度智能制造试点示范行动的通知》	工信部	2023.07	遴选智能工厂、数字化车间标杆，支持人工智能、数字孪生等新技术应用。
5	《关于加快场景创新以人工智能高水平应用促进经济高质量发展的指导意见》	工信部等六部门	2022.07	系统指导各地方和各主体加快人工智能场景创新应用，全面提升人工智能发展质量和水平。
二、省市层面扶持性政策				
6	《江苏省深化制造业智能化改造数字化转型网络化联接三年行动计划(2025-2027年)》	江苏省人民政府	2024.12	对智改数转项目提供贷款贴息，氢燃料电池汽车产业链企业示范项目额外补助20%。
7	《湖北省数字化赋能中小企业转型行动方案(2023-2025年)》	湖北省人民政府	2023.12	对氢能产业链企业智能化改造提供贷款贴息，示范工厂最高奖励800万元。
8	《加快推进产业数字化“三个全覆盖”实施方案(2022-2025年)》	浙江省经济和信息化厅	2023.05	对中小企业云平台服务费补贴50%，氢能企业数字化车间建设按投资额25%补助。
9	《上海市推动制造业高质量发展三年行动计划(2023-2025年)》	上海市人民政府	2023.05	对获评国家级智能工厂、标杆场景的企业给予最高1000万元奖励，氢能装备企业优先支持。
10	《支持企业技术改造投资和扩大再投资政策措施》	重庆市经信委、市财政局	2022.05	对工业互联网标识解析节点、数字化车间、智能工厂等建设项目按投资额比例给予最高1000万元奖补。

序号	政策名称	发布单位	发布日期	主要内容
11	《支持企业技术改造促进工业投资民营投资技术改造投资增长若干措施》	石家庄市工信局	2022.01	对智能化、数字化、绿色化方向技术改造项目，按购置设备额不超过 15%进行补贴，最高补贴 500 万元。
12	《中山市推进制造业数字化智能化转型发展若干政策措施》	中山市人民政府	2022.01	重点扶持运用智能化装备和数字化技术开展的改造项目，按投入总额的 20% 给予扶持，单个项目最高奖励 2000 万元。
13	《广州市推进制造业数字化转型若干政策措施》	广州市人民政府	2021.12	对符合条件的 5G 示范网络项目及入选国家跨行业跨领域综合型工业互联网平台企业进行奖补，每个项目最高不超过 500 万元。
14	《佛山市推进制造业数字化智能化转型发展若干措施》	佛山市人民政府	2021.07	对数字化智能化示范工厂、车间及改造标杆示范项目实行分级分类奖励，最高一次性奖励 2000 万元。
15	《关于推动制造业高质量发展坚定不移打造制造强市的若干措施》	深圳市工信局	2021.02	对企业实施的技术改造、工业互联网平台建设、服务商培育等项目，实行分档分类资助，给予最高 5000 万元。

六、愿景与展望

氢燃料电池汽车产业是我国的战略新兴产业和未来产业，是我国稳步实现碳达峰碳中和目标的重要产业基础。在国家双碳战略背景下，随着云计算、大数据、AI、区块链等新一代信息技术逐渐成熟，与氢燃料电池汽车行业的深度融合发展成为必然趋势。

氢燃料电池汽车行业将不断探索以智能制造和工业互联网创新应用为核心，以“绿色智能生产、设施互联互通、数字设计运营、数据开放共享、产业互促互融、系统安全可控”为主导方向，推动氢燃料电池汽车全产业链实现“研发全流程、生产全过程、产品全周期、管理全方位、安全全覆盖、数据全融通”。同时，加快“网联”赋能体系建设，提升“网联”的网络化、平台化、规模化赋能作用，促进我省氢燃料电池汽车行业智能制造水平和供应链现代化水平的稳步提升，推进江苏“数实融合强省”建设。

附件

附件 1：人工智能典型应用场景

附件 2：投入改造清单及图谱

附件 3：典型案例

附件 4：服务商目录

附件 5：技术缩略语

附件 6：江苏省制造业“智改数转网联”典型场景参考指引

附件 1

人工智能典型应用场景

1、氢燃料电池汽车智能设计与仿真

传统氢燃料电池设计依赖试错法，开发周期长达 18-24 个月，且电堆性能离散度高达 10%。通过数字孪生技术，构建包含电化学、热力学等多物理场的燃料电池系统虚拟模型，可在仿真环境中验证千种工况组合，某企业借此将膜电极验证周期从 3 个月压缩至 2 周；某双极板供应商通过生成式设计技术，基于性能目标自动生成双极板流道拓扑结构，使传质效率提升 12%-18%；通过机器学习（ML）技术，可分析 10 万+小时耐久性测试数据，预测电堆衰减趋势并优化控制策略，寿命延长 15%-20%。某车企通过 AI 协同设计，将燃料电池系统功率密度从 4kW/L 提升至 7kW/L，降低开发成本，显著加速产品迭代。

2、氢能安全监控与风险预测

氢气泄漏、储罐超压等安全隐患的实时监测是行业痛点，传统人工巡检漏检率超 5%。通过计算机视觉（CV）技术结合红外热成像技术，可精准识别 0.1mm 级管道裂纹与微泄漏，检测效率较人工提升 10 倍；边缘计算设备部署于加氢站、储运车等场景，实现传感器数据的本地化实时处理，将预警延迟从分钟级降至毫秒级；时间序列分析则通过 LSTM 模型预测储氢罐疲劳寿命，提前 30 天预警潜在风险。某氢能企业通过 AI 监控

系统，将安全事故发生率从 0.8 次/年降至 0.2 次/年，应急响应时间缩短 70%，年度安全运维成本降低 150 万元。此外，AI 驱动的风险图谱技术可动态评估区域氢能设施安全等级，为行业监管提供量化决策支持。

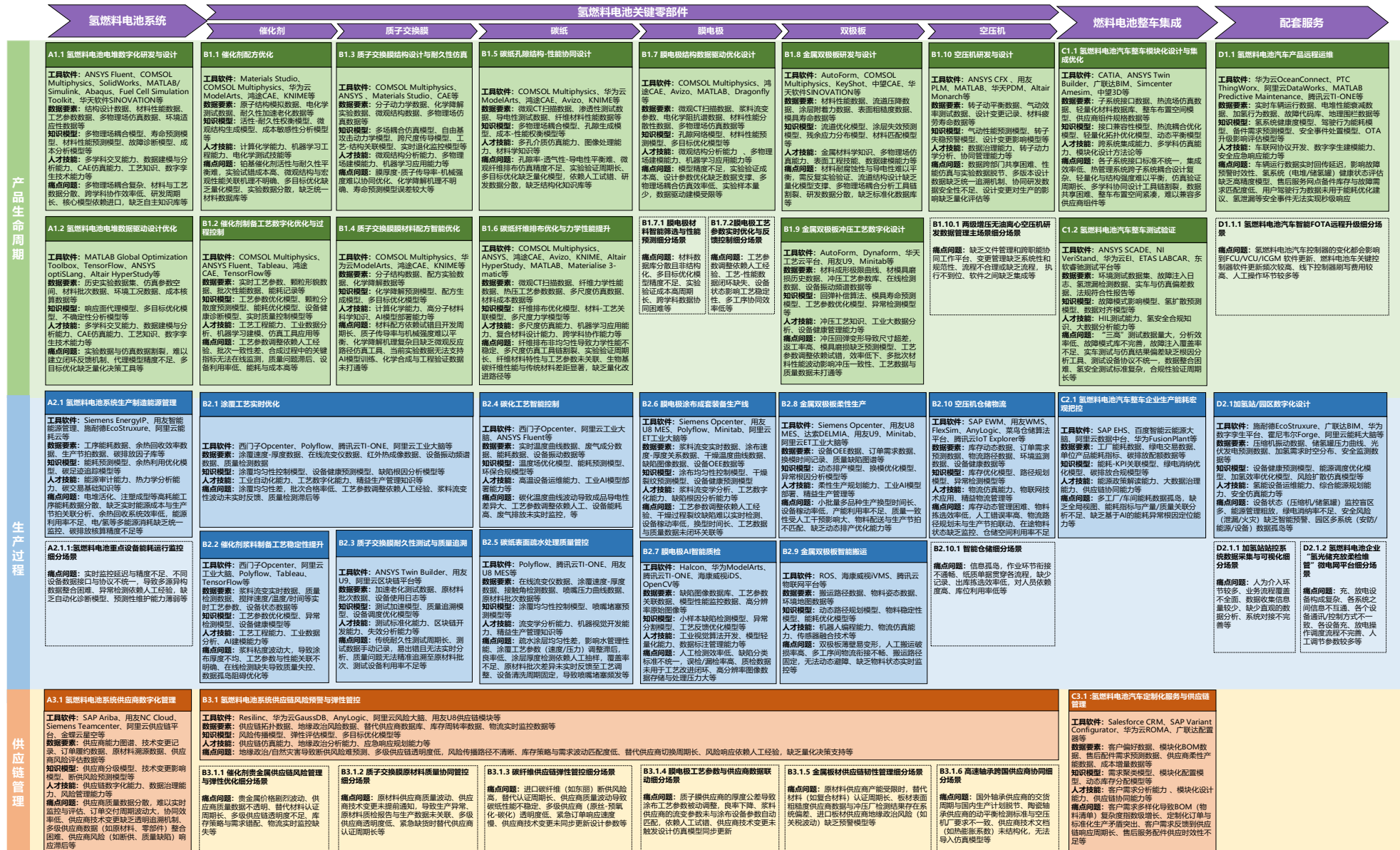
3、加氢站智能化管理

当前加氢站运营效率低、氢气损耗率高，人工巡检难以实时监控设备状态，导致用户平均等待时间超过 15 分钟。通过由 AI 驱动的计算机视觉（CV）技术可实时识别加氢机密封件磨损、管路微泄漏等隐患；通过物联网（IoT）技术，结合边缘计算，实现压缩机温度、储氢罐压力等参数的毫秒级采集与异常预警；通过预测分析模型技术，基于历史加注数据和天气、交通等多维信息，动态优化氢气储备与配送计划。例如某加氢站通过 AI 预测将库存冗余从 20% 降至 7%。应用效果显示，使加氢效率提升 20%，用户等待时间缩短至 10 分钟以内，设备故障响应速度提高 50%，通过 AI 管理年节省运维成本超 200 万元，为氢能基础设施的智能化升级提供范式。

投入改造清单及图谱

1、行业系统化场景意图示意图

江苏省氢燃料电池汽车行业智改数转网联场景图谱



2、行业智能化改造装备清单

适用场景	装备名称	主要功能	国产/进口
氢燃料电池电堆数字化研发与设计	燃料电池电堆测试台	测试电堆功率、效率、耐久性等	进口
	机器视觉检测系统	自动检测电堆组件表面缺陷	国产
	数据采集与监控系统	实时采集实验数据	国产/进口
	燃料电池数字孪生平台	集成仿真与实验数据	国产
氢燃料电池电堆数据驱动设计优化	GPU 计算服务器	加速代理模型训练	国产
	高通量测试台	并行化实验数据采集	进口
氢燃料电池系统生产制造能源管理	智能电表系统	高精度分项计量能耗	国产
	余热回收热泵	工业废热转换为可用能源	国产
膜电极结构数据驱动优化设计	微纳尺度 CT 扫描仪	纳米级孔隙结构成像	进口
	高通量涂布试验机	参数可控的浆料制备	国产
	全自动电化学测试台	多工况性能数据采集	进口
膜电极涂布成套装备生产线	视觉引导涂布机器人	CCD 定位精准涂布	国产
	在线红外热像仪	干燥过程温度场监测	进口
	自适应供料系统	浆料粘度闭环控制	国产
膜电极 AI 智能质检	高速线阵相机	微米级分辨率连续拍摄	进口
	AI 推理边缘盒子	本地化实时缺陷检测	国产
	自动分拣机械臂	不良品精准剔除	国产
金属双极板研发与设计	激光焊接机器人	高精度流道焊接	进口
	电化学工作站	涂层耐腐蚀性测试	进口
	三维形貌仪	表面粗糙度检测	国产
	高精度 3D 打印机	流道结构快速原型制作	进口
金属双极板冲压工艺数字化设计	伺服压力机	精密冲压成形	进口
	在线尺寸检测系统	激光扫描实时监控回弹量	国产
	智能模具温控系统	动态调节模具温度	国产
金属双极板柔性生产	快换模具系统	10 分钟内完成模具切换	进口
	AGV 物料搬运车	自动配送原材料	国产
	自适应夹具	兼容多型号双极板	国产
金属双极板智能搬运	协作机器人	人机协同精密搬运	进口
	3D 视觉引导系统	物料定位与抓取	国产
	力控夹爪	自适应抓取力控制	进口

无油离心空压机 研发数据管理	高速动平衡测试台	转子超高速精密平衡	进口
	3D 金属打印机	叶轮快速原型制造	进口
	气动性能测试台	多工况流量-压力测试	国产
空压机仓储物流	自动化立体仓库	高密度存储与自动存取	国产
	AGV 搬运机器人	物料自动配送	国产
	智能拣选机器人	视觉引导精准抓取	进口
氢燃料电池汽车 整车模块化设计 与集成优化	整车热管理测试台	多工况热流场验证	进口
	3D 扫描测量臂	装配精度逆向检测	进口
	复合材料成型设备	轻量化部件快速试制	国产
氢燃料电池汽车 整车测试验证	氢泄漏模拟装置	可控浓度氢气释放	进口
	多轴振动试验台	模拟复杂路况振动	进口
	AI 缺陷检测摄像头	实时识别电池组异常发热	国产
氢燃料电池汽车 整车企业生产能 耗宏观把控	智能微电网系统	光储氢一体化能源管理	国产
	中央能源监控大屏	全集团能耗实时可视化	国产
	AI 能效优化服务器	实时执行能耗优化算法	国产
氢燃料电池系统 供应商数字化管 理	智能质检机器人	来料自动检测	国产
	区块链节点服务器	供应商数据防篡改存证	国产
	RFID 标签打印机	物料身份标识绑定	国产
氢燃料电池系统 供应链风险预警 与弹性管控	智能仓储管理系统	动态调整安全库存	国产
	卫星物联网终端	跨境物流实时追踪	进口
	AI 风险预警大屏	全链路风险可视化	国产
燃料电池汽车定 制化服务与供应 链管理	柔性混线生产系统	支持多型号混流生产	进口
	3D 打印工作站	小批量定制件快速制造	国产
	智能分拣机器人	个性化订单物料精准配送	国产
氢燃料电池汽车 产品远程运维	车载智能 T-BOX	5G/V2X 数据实时传输	国产
	氢浓度监测传感器	储氢罐周边泄漏检测	进口
	移动式应急处理终端	远程指导现场维修	国产
加氢站/园区数字 化设计主场景	智能储氢罐监测系统	壁厚/裂纹在线检测	进口
	巡检机器人	自主路径规划与气体检测	国产
	光伏电解水制氢设备	绿电直供制氢	国产

3、数字化转型数据要素清单

序号	场景	数据要素类型	描述	备注
1	氢燃料电池堆数字化研发与设计	结构设计数据	电堆组件三维模型、公差配合数据	
2		材料性能数据	膜电极质子传导率、双极板耐蚀性	
3		工艺参数数据	涂覆/热压/封装等条件与性能关系	
4		测试验证数据	单电堆性能测试(电压/温度/寿命)	
5		多物理场仿真数据	流场分布/温度场/电流密度等仿真	
6		环境适应性数据	高低温/振动/湿度等工况下性能	
7		用户需求数据	功率密度/耐久性/成本等指标要求	用户数据
8	氢燃料电池电堆数据驱动设计优化	历史实验数据集	电堆性能退化数据与工况关联记录	
9		仿真参数空间	设计变量与响应值的映射关系	
10		材料批次数据	不同供应商材料的性能波动统计	供应商数据
11		环境工况数据	温度/湿度/压力等条件变化记录	
12		成本核算数据	材料用量与工艺成本的关联表	
13	氢燃料电池系统生产制造能源管理	工序能耗数据	电堆活化/注塑/涂装实时能耗曲线	
14		余热回收效率数据	热交换器进出口温度与能量回收率	
15		碳排放因子库	电/氢/蒸汽的碳排放折算系数	
16		生产节拍数据	设备启停时间与能耗峰谷关联记录	
17	催化剂配方优化	原子结构模拟数据	Pt 纳米颗粒晶面指数与吸附能结果	
18		电化学测试数据	循环伏安曲线/阻抗谱活性评估	
19		耐久加速老化数据	规定次数循环后活性衰减率记录	
20	催化剂制备工艺数字化优化与过程控制	实时工艺参数	温度/压力/搅拌速度每秒采样数据	
21		颗粒形貌数据	在线粒度仪监测的粒径分布	
22		批次性能数据	催化剂活性/耐久性测试结果	
23		能耗记录	单批次电耗/燃气消耗明细	
24	催化剂浆料制备工艺稳定性提升	实时工艺参数	搅拌速度/温度/时间等数据	
25		浆料流变数据	在线监测剪切应力-剪切速率曲线	
26		质量检测数据	离线粒度分析	
27		设备状态数据	电机电流/振动频谱/温度传感器	
28	质子交换膜结构设计及耐久性仿真	分子动力学数据	质子传导通道的氢键网络动态变化	
29		化学降解实验数据	加速老化测试自由基浓度-膜厚度损失关系	
30		微观结构数据	SEM/TEM 图像量化孔隙率等	
31		多物理场仿真数据	电流密度/温度场/应力场分布	

32		分子动力学数据	质子传导通道的氢键网络动态变化	
33	质子交换膜材料 配方智能优化	分子结构数据	树脂链构象与官能团分布模拟结果	
34		配方实验数据	不同配比下的传导率/强度测试	
35		化学降解数据	自由基攻击后的膜厚度损失率	
36	质子膜耐久性测 试与质量追溯	加速老化测试数据	高温高湿条件下性能衰减曲线	
37		原材料批次数据	供应商/生产日期/质检报告	供应商数据
38		设备使用日志	测试台运行时间/故障历史	
39	涂覆工艺实时优 化	涂覆速度-厚度数据	不同参数组合下的膜厚度分布	
40		在线流变仪数据	浆料粘度/剪切速率的实时监测	
41		红外热成像数据	干燥温度场均匀性分析结果	
42		设备振动频谱数据	涂覆机关键部件健康状态监测	
43		质量检测数据	厚度/孔隙率/导电率抽检结果	
44	碳纸孔隙结构-性 能协同优化	微 CT 扫描数据	三维纤维排布与孔隙结构	
45		渗透性测试数据	氮气流量-压差关系曲线	
46		导电性测试数据	面电阻与压缩率关联记录	
47		纤维材料性能数据	PAN 基/沥青基碳纤维力学参数	供应商数据
48	碳纸纤维排布优 化与力学性能提 升	微 CT 扫描数据	碳纸三维纤维排布与孔隙分布	
49		纤维力学性能数据	单丝拉伸强度/模量/断裂伸长率等	
50		热压工艺参数数据	温度/压力/时间与纤维取向关联	
51		多尺度仿真数据	纤维排布-压缩强度映射关系	
52		材料成本数据	PAN 基/沥青基/生物基碳纤维价格	供应商数据
53	碳化工艺智能控 制	实时温度曲线数据	碳化炉多区温度监测	
54		废气成分数据	CO/NOx 浓度在线检测结果	
55		能耗数据	电耗/燃气消耗分时记录	
56		设备振动数据	炉体关键部件健康状态监测	
57		成品导电性数据	面电阻抽检结果分布	
58	膜电极结构数据 驱动优化设计	微观 CT 扫描数据	催化剂层三维孔隙结构	
59		浆料流变参数	粘度-剪切速率关系曲线	
60		电化学阻抗谱数据	质子传输阻力与湿度关联数据	
61		材料性能分散	不同批次材料导电率/耐久性差异	供应商数据
62		多物理场仿真数据	电流密度/温度场/液态水分布模拟	
63	膜电极涂布成套 装备生产线	浆料流变实时数据	在线粘度计监测的流变曲线	
64		涂布速度-厚度关系	不同工艺参数下的涂层厚度分布	
65		干燥温度曲线数据	红外热像仪记录的温度场变化	
66		缺陷图像数据	裂纹/气泡的视觉检测结果	

67		设备 OEE 数据	设备综合效率(可用率/性能/质量)	
68	膜电极 AI 智能 质检	缺陷图像数据库	十万级标注样本(良品/针孔/划痕)	
69		工艺参数关联数据	缺陷类型与涂布/干燥参数关系	
70		模型性能监控数据	准确率/召回率/F1 值的实时统计	
71		高分辨率原始图像	单张图像 $\geq 100\text{MB}$ 的微观结构数据	
72	金属双极板研发 与设计	材料性能数据	金属导电率、耐腐蚀性参数	供应商数据
73		流道压降数据	不同流道结构的流体阻力测试结果	
74		涂层附着力数据	涂层与基体结合强度测试记录	
75		表面粗糙度数据	加工工艺对接触电阻的影响	
76		模具寿命数据	冲压次数与模具磨损关联统计	
77	金属双极板冲压 工艺数字化设计	材料成形极限曲线	不同不锈钢牌号的 FLD 数据	供应商数据
78		模具磨损历史数据	冲压次数与模具间隙变化记录	
79		冲压工艺参数库	压力/速度/温度与成品合格率关系	
80		在线检测数据	激光扫描实时回弹量记录	
81		设备振动频谱数据	冲压机健康状态监测	
82	金属双极板柔性 生产	设备 OEE 数据	设备综合效率(可用率/性能/质量)	
83		订单需求数据	多品种订单的交期与优先级	用户数据
84		换模时间记录	不同模具切换的历史耗时统计	
85		质量缺陷图谱	不同产品型号的缺陷分布	
86	金属双极板智能 搬运	搬运路径数据	AGV 行驶轨迹与时间消耗记录	
87		物料姿态数据	双极板倾斜角度与受力监测	
88		环境地图数据	车间三维建模与障碍物坐标	
89	无油离心空压机 研发数据管理	转子动平衡数据	不同转速下的振动频谱与校正参数	
90		气动效率测试数据	流量-压力-能耗关系曲线	
91		设计变更记录	版本迭代历史与关联影响分析	
92		材料疲劳寿命数据	钛合金/复合材料的 S-N 曲线	供应商数据
93	空压机仓储物流	库存动态数据	各型号空压机实时数量与库位信息	
94		订单需求预测数据	未来生产计划驱动的材料需求预测	用户数据
95		物流路径数据	AGV 行驶轨迹与时间消耗记录	
96		环境监测数据	仓库温湿度/振动传感器记录	
97		设备健康数据	堆垛机/AGV 故障历史与维护记录	
98	氢燃料电池汽车 整车模块化设计 与集成优化	子系统接口数据	机械/电气/热接口参数标准化定义	
99		热流场仿真数据	电堆散热与空调系统协同仿真结果	
100		轻量化材料数据库	材料力学性能参数	供应商数据
101		整车布置空间模型	三维空间占用与可维护性评估数据	

102		供应商组件规格	第三方设备尺寸/功率/接口参数	供应商数据
103	氢燃料电池汽车 整车测试验证	环境测试数据集	高寒/高原/高温工况性能数据	
104		故障注入日志	人工触发故障的响应记录	
105		氢泄漏检测数据	传感器监测的浓度/位置/时间信息	
106		实车与仿真偏差	关键参数（电压/温度）差异分析	
107	氢燃料电池汽车 整车企业生产能 耗宏观把控	分工厂能耗数据	各生产基地电/氢/水消耗总量	
108		绿电交易数据	光伏/风电采购量与使用时段记录	
109		单位产品能耗指标	单车生产能耗（kWh/辆）	
110		碳排放配额数据	政府分配与企业实际排放量对比	
111	氢燃料电池系统 供应商数字化管 理	供应商能力图谱	质量合格率/交货准时率/地理位置	供应商数据
112		技术变更记录	零部件规格变更版本与影响范围	
113		订单履约数据	实际交付周期与合同要求对比	
114		原材料溯源数据	关键材料（如催化剂）供应链路路径	
115		供应商风险评估	财务健康度/环保合规性/舆情监控	
116	氢燃料电池系统 供应链风险预警 与弹性管控	供应链拓扑数据	多级供应商节点与物流路径关系	供应商数据
117		替代供应商数据库	潜在供应商技术/产能/资质信息	
118		库存周转率数据	安全库存与需求波动匹配度分析	
119		物流实时监控数据	在途货物位置/温湿度/延迟预警	
120	燃料电池汽车定 制化服务与供应 链管理	客户偏好数据	动力配置/续航里程/外观定制需求	用户数据
121		模块化 BOM 数据	可配置单元(如电堆功率/储氢容量)	
122		售后配件需求预测	区域维保频率与配件消耗规律	用户数据
123		供应商柔性产能	零部件快速换型与交付能力评估	供应商数据
124		成本增量数据	定制化选项与额外成本的映射关系	
125	氢燃料电池汽车 产品远程运维	实时车辆运行数据	电压/温度/压力/氢耗等每秒采样	用户数据
126		电堆性能衰减数据	极化曲线随里程的变化趋势	
127		加氢行为数据	加氢频率/单次加注量/站点偏好	用户数据
128		故障代码库	历史故障模式与解决方案知识图谱	
129		地理围栏数据	高寒/高原等特殊工况区域标注	用户数据
130	加氢站/园区数字 化设计主场景	压缩机振动数据	轴承温度/振幅频谱特征	
131		储氢罐压力曲线	充放氢过程的压力-温度变化	
132		光伏发电预测数据	天气驱动的发电量小时级预测	
133		加氢需求时空分布	车辆到站时间/加注量热力图	用户数据
134		安全监测数据	火焰/气体浓度/视频智能分析结果	

4、知识模型资源清单

序号	场景	知识模型	描述
1	氢燃料电池堆数字化研发与设计	多物理场耦合模型	电化学-热-流场协同作用机理模型
2		寿命预测模型	基于材料衰减规律的寿命估算算法
3		材料性能预测模型	催化剂活性与工况条件的关联模型
4		工艺优化模型	涂布均匀性、封装压力与成品率关系模型
5		故障诊断模型	电压巡检数据与内部短路/水淹的关联规则
6	氢燃料电池电堆数据驱动设计优化	响应面代理模型	替代高成本仿真的快速预测模型
7		多目标优化模型	功率/寿命/成本的 Pareto 前沿求解
8		不确定性分析模型	材料波动对性能影响的量化评估
9	氢燃料电池系统生产制造能源管理	能耗预测模型	基于生产计划的能源需求预测
10		余热利用优化模型	热泵系统与生产工艺的匹配算法
11		碳足迹追踪模型	产品全生命周期碳排放核算
12	催化剂配方优化	活性-耐久性权衡模型	基于随机森林的多目标优化算法
13		微观结构生成模型	生成对抗网络 (GAN) 模拟颗粒分布
14		成本敏感性分析模型	材料用量与总成本的量化关系
15	催化剂制备工艺数字化优化与过程控制	工艺参数优化模型	基于强化学习的温度-压力组合推荐
16		颗粒分散度预测模型	根据搅拌速度/粘度预测粒径分布
17		设备健康诊断模型	振动频谱分析实现故障提前 7 天预警
18		能耗优化模型	分时电价策略下的生产排程算法
19		实时质量控制模型	在线数据异常检测 (如温度骤变)
20	催化剂浆料制备工艺稳定性提升	工艺参数优化模型	强化学习推荐搅拌速度-温度最优组合
21		异常检测模型	实时识别粘度突变的 AI 算法
22		设备健康模型	基于振动频谱的搅拌浆磨损预测
23		能耗优化模型	分时电价策略下的生产排程算法
24	质子交换膜结构设计及耐久性仿真	多场耦合仿真模型	电化学-热-机械场联合作用下的膜应力分布预测
25		跨尺度传导模型	微观质子通道-宏观导电率的映射算法
26		工艺-结构关联模型	热压参数-孔隙率-导电率的量化关系
27		实时退化监控模型	基于在线电化学阻抗谱的寿命实时估算
28	质子交换膜材料配方智能优化	多目标优化模型	传导率/强度/成本的帕累托前沿求解
29		化学降解预测模型	基于反应动力学的寿命估算算法
30		配方生成模型	生成对抗网络 (GAN) 推荐新配方

31	质子交换膜耐久性测试与质量追溯	测试加速模型	实际寿命=加速测试数据×环境因子
32		质量追溯模型	缺陷模式与原材料批次的关联规则
33		设备调度优化模型	测试任务优先级与设备负载均衡算法
34	涂覆工艺实时优化	涂覆均匀性控制模型	基于 PID 与 AI 的闭环参数调整算法
35		设备健康预测模型	振动频谱异常模式识别与寿命预测
36		缺陷根因分析模型	质量缺陷与工艺参数的关联规则挖掘
37	碳纸孔隙结构-性能协同优化	多物理场耦合模型	流场分布-导电性-机械强度协同优化
38		孔隙生成模型	基于 GAN 的纤维排布模拟算法
39		成本-性能权衡模型	材料选择与总成本的量化关系
40	碳纸纤维排布优化与力学性能提升	多尺度力学模型	纤维排布-抗压强度/柔韧性映射算法
41		纤维排布优化模型	基于遗传算法的纤维取向分布生成
42		材料-工艺关联模型	热压参数与纤维排布量化关系
43	碳化工艺智能控制	温度场优化模型	基于 PID 与强化学习的闭环控制算法
44		能耗预测模型	生产计划驱动的能耗需求预测
45		环保合规模型	废气排放超标风险预警
46	膜电极结构数据驱动优化设计	孔隙网络模型	气体/液态水传输路径预测
47		材料性能预测模型	基于微观结构的导电率/耐久性关联模型
48		多目标优化模型	孔隙率/厚度/催化剂载量协同优化算法
49	膜电极 AI 智能质检	小样本缺陷检测模型	基于迁移学习的少样本高精度识别
50		异常分割模型	无监督学习定位未知缺陷类型
51		工艺反馈优化模型	缺陷根因分析与工艺参数推荐
52	金属双极板研发与设计	流道优化模型	压降与电流密度平衡的量化算法
53		涂层失效预测模型	基于电化学阻抗的涂层寿命分析
54		残余应力分布模型	冲压工艺对双极板变形的影响预测
55		材料匹配模型	导电性/耐腐蚀性/成本的权重评估
56	金属双极板冲压工艺数字化设计	回弹补偿算法	基于历史数据的变形逆向修正模型
57		模具寿命预测模型	冲压次数与磨损量关联模型
58		工艺参数优化模型	压力/温度组合的智能推荐系统
59		异常检测模型	振动频谱异常模式识别
60	金属双极板柔性生产	动态排产模型	基于实时订单的产线调度优化
61		换模优化模型	模具切换路径规划与时间压缩
62		异常根因分析模型	质量缺陷与工艺参数的关联挖掘
63	金属双极板物料智能搬运	动态路径规划模型	实时避障与最优路径计算
64		物料稳定性模型	搬运速度与板材变形的关联预测
65		能耗优化模型	AGV 电量与任务调度的智能匹配

66	无油离心空压机 研发数据管理	气动性能预测模型	基于流场仿真的效率-转速关联模型
67		转子失稳预警模型	振动频谱异常模式识别算法
68		设计变更影响模型	零部件参数变动对整机性能的量化评估
69	空压机仓储物流	库存优化模型	安全库存与周转率的动态平衡算法
70		路径规划模型	基于实时订单的 AGV 最优路径计算
71		异常检测模型	环境数据异常（如温湿度超标）预警
72	氢燃料电池汽车 整车模块化设计 与集成优化	接口兼容性模型	多供应商组件接口冲突检测规则库
73		热流耦合优化模型	电堆散热与空调能耗协同控制算法
74		轻量化拓扑优化模型	基于载荷分布的轻量化结构生成算法
75		动态平衡模型	整车重量分布与操控稳定性关联模型
76	氢燃料电池汽车 整车测试验证	故障模式影响模型	故障树分析（FTA）与危害性评估
77		氢扩散预测模型	泄漏场景下的浓度分布与安全阈值判断
78		数据对齐模型	仿真与实测数据的偏差补偿算法
79	氢燃料电池汽车 整车企业生产能 耗宏观把控	能耗-KPI 关联模型	产量/良率与能耗的量化关系模型
80		绿电消纳优化模型	生产计划与绿电供应时段匹配算法
81		碳排放合规模型	多国法规差异的自动合规性检查
82	氢燃料电池系统 供应商数字化管 理	供应商分级模型	质量/交付/成本的综合评分算法
83		技术变更影响模型	零部件参数变动对系统性能的量化分析
84		断供风险预测模型	基于历史数据的供应商稳定性评估
85	氢燃料电池系统 供应链风险预警 与弹性管控	风险传播模型	断供事件对生产影响的级联效应分析
86		弹性评估模型	供应链网络抗扰动能力量化指标
87		多目标优化模型	成本/库存/响应速度的平衡策略
88	燃料电池汽车定 制化服务与供应 链管理	需求聚类模型	客户定制选项的共性特征挖掘
89		模块化配置模型	标准化接口与可扩展组件的组合规则
90		动态库存分配模型	长尾零部件跨区域调拨优化
91	氢燃料电池汽车 产品远程运维	氢系统健康度模型	基于电化学阻抗谱的寿命预测
92		驾驶行为能耗模型	加速度/路况与氢耗的关联分析
93		备件需求预测模型	区域故障率驱动的库存动态优化
94		安全事件处置模型	氢泄漏浓度扩散模拟与应急路径规划
95	加氢站/园区数 字化设计主场景	设备健康预测模型	压缩机剩余寿命预测（基于振动频谱）
96		能源调度优化模型	绿电-电网-储氢的动态平衡策略
97		加氢效率优化模型	车辆排队调度与设备启停协同算法
98		风险扩散仿真模型	氢泄漏场景下的人员疏散路径规划

5、工具软件清单

序号	分类	工具软件	描述	国产/进口
1	生产制造类	用友 U8 MES	制造执行系统，支持实时生产监控、工艺参数优化及全流程质量追溯	国产
2		用友 NC Cloud	云端 MES 平台，实现多工厂协同管理，集成供应链数据与生产动态分析	国产
3		华天工艺云平台	冲压工艺参数智能推荐平台，集成设备健康监控与维护预警功能	国产
4		台达 DIASudio	PLC 编程工具，兼容台达控制器，支持中小型产线自动化逻辑控制开发	国产
5		西门子 Opcenter	高精度制造 MES 系统，支持工艺数据集成与设备互联互通	进口
6		西门子 TIA Portal	PLC 编程软件，支持 SIMATIC 系列控制器，适用于复杂自动化产线逻辑设计	进口
7		施耐德 Eco Struxure	工业自动化平台，支持 PLC 编程与能效管理，适配加氢站设备控制场景	进口
8		海康威视 iVMS	智能仓储管理系统，支持自动化库存调度与实时物流监控	国产
9		海康威视 iDS	工业视觉质检系统，支持高精度缺陷检测与生产线实时反馈	国产
10	研发设计类	ANSYS	多物理场仿真工具，支持结构力学、流体与电磁场耦合分析	进口
11		COMSOL Multiphysics	多物理场耦合仿真平台，涵盖电化学、传热与流体动力学建模	进口
12		MATLAB/Simulink	电化学系统建模工具，支持燃料电池控制策略动态仿真与优化	进口
13		SolidWorks	三维机械设计软件，支持参数化建模与装配验证	进口
14		华天软件 SINOVAION	国产 CAE 工具，集成燃料电池仿真模块，支持热力学与应力分析	国产
15		Altair HyperStudy	多学科优化工具，支持参数敏感性分析与设计空间探索	进口
16		AutoForm	金属板料成形仿真软件，支持模具设计与工艺缺陷预测	进口
17		Dynaform	高精度板料成形分析工具，适配复杂冲压工艺仿真与优化	进口
18		中望 CAE	国产金属成形仿真工具，支持冲压、铸造工艺仿真与参数调优	国产
19	鸿途 CAE	多物理场仿真平台，涵盖结构、流体与热力学耦合分析	国产	

20		CATIA	三维模块化设计软件，支持复杂机械系统集成与装配验证	进口
21		广联达 BIM	多专业协同设计平台，支持建筑与工业设备三维建模与数据互通	国产
22		Simcenter AMESim	热流耦合系统级仿真工具，支持整车热管理与能源效率优化	进口
23		KeyShot	光学可视化工具，支持表面涂层渲染与材料光学性能模拟	进口
24	数据分析与人工智能类	Python	开源编程语言，支持数据分析、机器学习模型开发与自动化脚本编写	开源
25		Optuna	超参数优化框架，支持自动化调整模型参数以提升算法性能	开源
26		华为云 Model Arts	AI 开发平台，支持燃料电池寿命预测模型训练与实时故障诊断算法优化	国产
27		TensorFlow	深度学习框架，支持分布式训练与工业级 AI 模型部署	进口
28		阿里云 ET 工业大脑	AI 驱动的动态排产优化工具，支持多目标生产计划智能调度	国产
29		腾讯云 TI-ONE	AI 模型训练平台，支持故障诊断算法快速开发与云端部署	国产
30	供应链与物流管理类	SAP Ariba	供应商全生命周期管理平台，支持采购流程自动化与合同风险管理	进口
31		Resilinc	供应链风险预警工具，支持全球供应链中断事件实时监控与应对策略生成	进口
32		阿里云供应链平台	多级供应商数据整合平台，支持供应链可视化与动态需求预测	国产
33		金蝶云星空	供应商绩效评估系统，支持风险预警与采购成本优化分析	国产
34		华为云 Gauss DB	供应链大数据分析平台，支持弹性仿真与库存优化决策	国产
35		Any Logic	供应链网络动态仿真工具，支持多场景物流路径规划与资源分配优化	进口
36		阿里云风险大脑	AI 驱动的供应链风险预测系统，支持突发事件影响模拟与应急方案生成	国产
37		用友 U8 供应链模块	库存优化工具，支持替代供应商智能匹配与采购成本实时分析	国产
38	业务流程及管理类	用友 PLM	产品生命周期管理平台，支持研发数据全流程协同与版本控制	国产
39		华天 PDM	产品数据管理平台，支持 BOM 管理、设计变更与文档协同	国产

40		Salesforce CRM	客户关系管理系统，支持需求个性化配置与销售漏斗分析	进口
41		SAP Variant Configurator	复杂 BOM 配置工具，支持多版本产品参数化设计与订单适配	进口
42		华为云 ROMA	数据协同平台，支持客户-工厂-供应商端到端数据互通与业务流程集成	国产
43		西门子 Teamcenter	技术数据协同管理平台，支持跨部门设计数据共享与版本追溯	进口
44		阿里云 Data Works	大数据清洗与分析工具，支持运维数据标准化与可视化报表生成	国产
45		Altair Monarch	多源数据清洗工具，支持非结构化数据标准化与快速预处理	进口
46	仿真与优化类	Avizo	微观 CT 图像三维重构工具，支持材料孔隙率分析与缺陷检测	进口
47		Dragonfly	高分辨率图像处理平台，支持工业视觉特征提取与三维模型重建	进口
48		Polyflow	浆料流变行为仿真工具，支持注塑工艺优化与材料流动性预测	进口
49		Halcon	工业视觉算法开发平台，支持高精度图像识别与自动化检测逻辑编程	进口
50		Minitab	工艺参数统计分析工具，支持 SPC 控制与六西格玛质量管理	进口
51		达索 DELMIA	数字化产线仿真平台，支持虚拟调试与生产节拍优化	进口
52	能源与设备管理类	阿里云能耗大脑	光储氢一体化能源管理平台，支持能效优化与碳排放监测	国产
53		霍尼韦尔 Forge	安全风险预测系统，支持应急指挥与设备健康状态实时监控	进口
54		PTC ThingWorx	车辆数字孪生平台，支持远程诊断与故障预测性维护	进口
55		华为云 Ocean Connect	百万级车辆接入管理平台，支持实时数据采集与车载设备远程控制	国产
56		华为数字孪生平台	园区全要素动态仿真工具，支持能源调度与设备运行状态可视化	国产
57		ROS(机器人操作系统)	搬运机器人控制平台，支持路径规划算法开发与多机协同调度	进口

6、网络化联接设备清单

适用场景	设备名称	主要功能	国产/进口
通用	工业物联网网关	实验设备数据实时采集与协议转换	国产
通用	边缘计算终端	本地数据处理与异常预警	国产
通用	协同研发云平台	支持多地团队在线协同设计	国产
通用	5G 工业模组	保障高并发数据传输可靠性	国产
通用	数据安全防护设备	研发数据加密与访问控制	国产
通用	振动传感器	冲压机状态监测	国产
通用	工业摄像头	冲压过程视觉监控	国产
通用	RFID 标签系统	物料实时追踪	国产
通用	RFID 读写器	物料身份自动识别	国产
通用	工业 AP	车间无线网络覆盖	国产
通用	UWB 定位基站	厘米级 AGV 定位	国产
通用	工业 5GCPE	低延迟视频回传	国产
通用	分布式存储服务器	海量图像数据管理	国产
通用	时间敏感网络交换机	确保视觉数据低延迟传输	进口
通用	数据加密机	研发数据安全传输	国产
通用	5G 工业路由器	高带宽数据传输	国产
通用	车载 T-BOX	测试数据远程回传	国产
通用	能源管理网关	多协议能耗数据采集	国产
通用	LoRa 无线传感器	分布式温度/压力监测	国产
通用	跨厂区光纤专网	高速低延迟数据传输	国产
通用	区块链节点	碳排放数据防篡改存证	国产
通用	区块链溯源平台	供应链数据可信存证	国产
通用	分布式边缘服务器	实时响应客户配置请求	国产

7、行业数字化转型人才技能清单

序号	人才技能类型	描述
1	多学科交叉能力	同时掌握电化学、机械设计、控制理论
2	数据建模与分析能力	熟练使用 Python/MATLAB 进行数据挖掘与模型开发
3	CAE 仿真能力	精通 ANSYS/COMSOL 多物理场仿真参数设置与结果分析
4	工艺知识	熟悉膜电极制备、双极板涂层等核心工艺
5	数字孪生技术能力	掌握数字孪生平台的部署与应用
6	项目管理能力	具备敏捷开发与 IPD 集成产品开发管理经验
7	国产化替代能力	熟悉国产 CAE/PLM 工具链的适配与二次开发
8	多目标优化算法	掌握 NSGA-II/粒子群等算法原理
9	数据清洗能力	处理实验噪声数据的标准化方法
10	云计算部署能力	云端分布式计算资源调度
11	金属材料学知识	熟悉不锈钢/钛合金特性与加工工艺
12	多物理场仿真能力	掌握流体力学与电化学交叉分析
13	表面工程技能	涂层制备与性能测试方法
14	数据建模能力	使用 Python/MATLAB 构建优化模型
15	冲压工艺知识	熟悉模具设计/材料回弹特性
16	工业大数据分析	时序数据处理与特征提取
17	设备健康管理能力	预测性维护策略制定
18	柔性生产规划能力	熟悉快速换模 (SMED) 方法论
19	工业 AI 模型部署	MES 与 AI 平台集成开发
20	精益生产管理	减少浪费与提升设备 OEE
21	机器人编程能力	掌握 ROS 或国产控制系统开发
22	物流仿真能力	使用 Flex Sim/Any Logic 优化布局
23	传感器融合技术	多源数据 (视觉/力觉) 集成应用
24	微观结构分析能力	掌握 CT 图像处理与孔隙特征提取技术
25	多物理场建模能力	电化学-流体-热耦合仿真经验
26	机器学习应用能力	使用 Python/TensorFlow 构建预测模型
27	浆料流变学分析	理解剪切稀化/触变性对涂布的影响
28	工艺数字化能力	MES 系统与设备 PLC 的集成开发
29	缺陷根因分析能力	使用鱼骨图/5Why 法定位质量问题
30	工业视觉算法开发	掌握 Halcon/OpenCV 缺陷检测算法
31	模型轻量化能力	将 AI 模型部署至边缘设备 (如 Jetson)

32	数据标注管理能力	建立缺陷分类标准与标注规范
33	数据治理能力	建立研发数据标准化规范
34	转子动力学分析	掌握 Campbell 图与临界转速计算
35	供应链协同管理	外协数据安全共享机制设计
36	物流仿真能力	使用 Flex Sim/Any Logic 优化仓储布局
37	物联网技术应用	传感器数据采集与边缘计算部署
38	精益物流管理	减少搬运浪费的动线设计
39	跨系统集成能力	熟悉电堆、储氢、空压机等子系统设计
40	多学科仿真能力	掌握热力学/流体力学/结构力学耦合分析
41	模块化设计方法论	基于 MBSE（基于模型的系统工程）的架构设计
42	HIL 测试能力	掌握 dSPACE/NI 等测试设备操作
43	氢安全合规知识	熟悉 GB/T24549、UNGTRNo.13 等标准
44	大数据分析能力	使用 Python/Spark 处理 TB 级测试数据
45	能源审计能力	掌握 ISO50001 能源管理体系
46	热力学分析能力	余热回收系统设计 with 效率计算
47	碳交易基础知识	熟悉碳配额分配与 CCER 机制
48	能源政策解读能力	掌握各国碳中和政策与激励措施
49	大数据治理能力	多源异构数据清洗与标准化
50	供应链协同能力	绿电供应商与生产计划的协同管理
51	供应链数字化能力	掌握 SRM（供应商关系管理）系统部署
52	数据治理能力	多源供应商数据清洗与标准化
53	风险管理能力	供应商 ESG（环境、社会、治理）评估
54	供应链仿真能力	使用 Any Logic 构建动态风险模型
55	地缘政治分析能力	国际局势对供应链影响的预判
56	应急响应规划能力	制定替代供应商快速切换流程
57	客户需求分析能力	将非结构化需求转化为技术参数
58	模块化设计能力	定义可配置单元与接口标准
59	供应链协同能力	推动供应商参与模块化开发
60	车联网协议开发	掌握 MQTT/CoAP 等物联网协议
61	数字孪生建模能力	使用 Unity/UE4 构建 3D 运维可视化界面
62	安全应急响应能力	氢安全事件处置标准流程（SOP）执行
63	氢能设备运维能力	掌握压缩机/储氢罐维护标准
64	综合能源规划能力	光储氢微电网系统设计
65	安全仿真能力	使用 FLACS 等爆炸扩散仿真工具

附件 3

典型案例

1、华昌能源—全链条数据管理智能化改造数字化转型

A. 智能化改造数字化转型聚焦环节

a. 环节现存的问题

企业在采购、生产、销售、售后等环节均存在纸质资料繁琐、流通慢、数据采集缺乏等问题，具体表现为：

（1）采购环节流程过于繁琐。每个部门都有自己的审批流程和标准，导致采购周期过长，影响了生产进度。

（2）生产环节，生产计划不合理是企业生产环节中常见的问题之一。在制定生产计划时，没有充分考虑市场需求、原材料供应、设备状况等因素。大量的纸质流转文件在生产时也影响了工作效率，同时也不便于追踪统计产品得信息。

（3）在销售环节中，客户需求响应不及时也是一个常见问题。一些企业没有建立完善的客户服务体系，不能及时了解客户的需求和反馈，导致客户满意度下降。

（4）企业售后主要问题聚焦于车辆信息的收集与规范化流程的执行。当前采用纸质流转文件进行售后操作，不仅效率低下，还带来了诸多不便，影响了售后服务的整体质量和效率。

（5）企业能耗的检测工作依赖于人工记录，这不仅导致了工作量的显著增加，而且使得数据的获取和处理变得繁琐且不

准确。更重要的是，这种方式无法直观地展示所需的能耗数据结果，为企业节能降耗带来了不小的挑战。

b. 环节升级改造方向

为全面提升企业运营效率与管理水平，计划建立一个综合性的数据管理平台，该平台将深度整合采购管理、生产制造流程、项目管理细节、售后维护服务、人员与组织架构管理、供应商关系维护、车辆信息管理、能耗与能源监控以及研发创新等多个关键环节，实现数据驱动的智能化决策支持，优化资源配置，加速业务响应速度，并推动企业持续稳健发展。

B. 智能化改造数字化转型具体做法

(1) 根据现有采购环节的得流程，转换为线上操作，从请购到入库得全流程可跟踪，手机电脑均可操作。解决多部门审批产生得时间浪费，缩短了采购周期。

(2) 根据市场部整体需求集合功能订单管理、客户管理、物料价格、供应商管理，点击即可进入相应详细目录，并可直管查看的统计更新订的单数量、金额、已收应收、已开发票等最新情况，同时跟踪收款进度，请购状况等。

(3) 能耗统计模块主要用于统计企业内部的能源消耗情况，包括电力、水、气等。该模块可实时监测能使用情况，并对能源消耗数据进行分析和统计，为企业的节能降耗提供决策依据。

(4) 车辆信息模块主要用于管理企业内部的车辆信息，包

括车辆的基本信息、维修记录、保险信息等。该模块可以方便企业对车辆进行管理和维护，提高车辆的使用效率和安全性。

(5) 生产制造环节通过对流转单的完善，可以更加有效地管理生产流通过程。同时，优化后的生产流程也可以提高工作效率，减少审批时间和成本。同时针对生产方面信息进行了集合，可以直观的查看生产进度以及产量等信息。

(6) 综合管理模块是公司整体管理的重要窗口，它集成了各个部门的关键信息和管理功能，为公司领导和管理人员提供了一个全面便捷的管理平台。主页界面的主要功能模块，包括公司公告、部门动态、项目管理、绩效考核、数据分析等。



附图 1.1 华昌能源科技数据管理平台全貌

C. 智能化改造数字化转型现有成效

- (1) 核心数据 90% 上线；
- (2) 无纸化办公率 90%，各生产环节无纸化率 100%；
- (3) 建立基于数据的审批、流转卡推送过程。

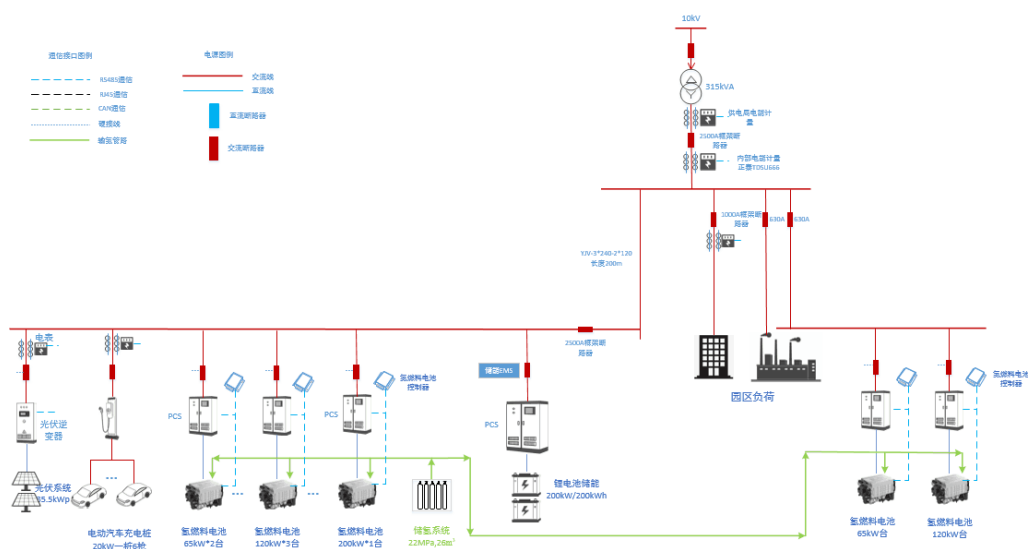
2、华昌能源—“氢光储充放柔检维管”微电网平台数字化转型

A. 智能化改造数字化转型聚焦环节

a. 环节现存的问题

园区设备包含：氢燃料电池系统 8 套、光伏车棚系统 35.75kWp、200kWh 储能系统。园区目前存在的问题如下：

- ①充、放电设备构成复杂；
- ②各系统之间信息不互通；
- ③各个设备通讯、控制方式不一致；
- ④各设备充、放电操作调度流程不完善；
- ⑤人工调节参数较多；



附图 2.1 园区充、放电设备一次架构图

b. 环节升级改造方向

搭建能量管理微网系统，系统建成后，可实现氢能发电的动态消纳，通过氢燃料电池系统与 35.75kWp 光伏发电系统、

200kWh 高效储能装置的深度融合，形成了绿色、智能、高效的能源生态系统。

B. 智能化改造数字化转型具体做法

a. 主要任务概述

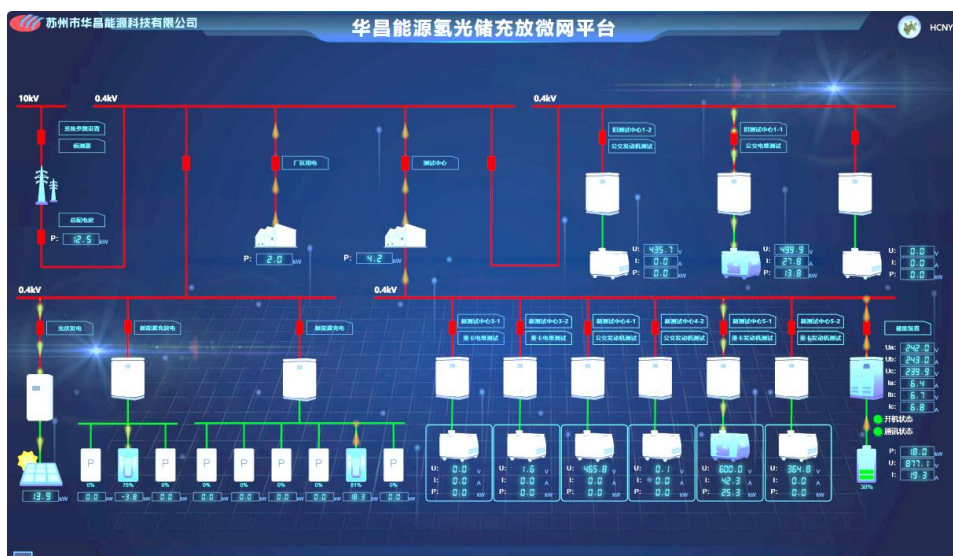
①搭建能量管理微网系统主机，并集成与各充、放电系统的不同通讯接口；

②将各充、放电系统与微网主机建立通讯，实现监控、控制功能；

③在各个关键节点新增实时电表，根据电表数据对氢能发电、光伏发电、储能、电动汽车充放电等多种能源形式进行统一管理、统一调度；

④搭建微网展示、控制平台，实现 24 小时监测与远程故障诊断，降低运维成本；

b. 详细实施方案



附图 2.2 “氢光储充放柔检维管”微电网控制界面



附图 2.3“氢光储充放柔检维管”微电网展示界面

C. 智能化改造数字化转型现有成效

“氢光储充放柔检维管”微电网平台搭建完成后，总功率达到 951kw，供能面积约 3 万平方米，年发电量可达 13.5 万度，占园区全年用电量的 30%，每年可为园区节省用电成本约 15 万元，预计可实现碳减排 108 吨。

集中管控平台好比是微网系统的智慧大脑，可根据氢能、光伏发电情况、厂区用能需求、对各个设备之间协同控制，实现高峰少用电，低谷无逆流，氢光储充放动态互济，既能响应电网短时的电力平衡需求，又可以带来更多的电量交易收益。

同时，它可以通过大数据分析，预测能源需求，并制定最优的能源使用策略，让每一分能源都“花在刀刃上”。

3、中汽创智—基于 PLM 系统的氢燃料电池堆研发设计协同

A. 氢燃料电池堆的数字化研发与设计

a) 现存问题

氢燃料电池堆的研发流程是一个复杂的工程项目，涉及多个阶段，从概念设计到最终产品的生产，需要跨学科的专业知识和精密的制造工艺，以及严格的测试和验证程序，并不断进行产品的优化迭代。因此使用传统的项目管理、数据流转等方式存在以下不足：

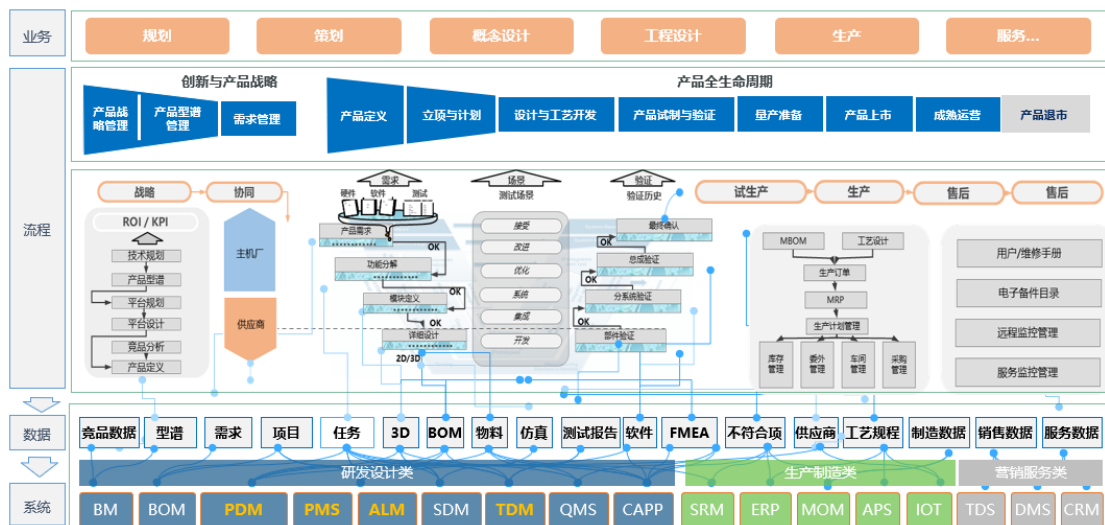
- ① 多学科、多部门数据交流困难
- ② 无法确保产品多阶段数据一致性
- ③ 设计、仿真、试验多系统存在信息壁垒
- ④ 缺少严格的质量控制流程

b) 改造方向

①产品数据管理系统建设，以 xBOM 为核心，整合产品全生命周期数据链：强对标国外商软 PDM 功能，涵盖 BOM 管理、产品库、图文档管理、基线管理、变更管理、设计发放、供应商协同、设计资源库等核心功能，实现与 Catia、Cendence 等 CAD、EDA 软件协同设计。

②研发项目管理系统建设：围绕 FQCD，以项目计划、任务、交付为主线，涵盖项目模板、团队管理、计划管理、交付管理、质量问题管理、工程目标管理、督办管理、工时管理、风险管理、项目点检、项目报告、以及项目组合管理。

③试验管理系统建设：围绕实验室资源管理-设备台账/维保/维修/计量/样品管理/检测项目管理，试验过程管理-试验委托/试验计划任务/试验报告签审/设备人员排程，试验设备数据采集与分析，支撑多样化试验业务的开展，透明化的管控与知识积累。



附图 3. 1PLM 平台整体流程规划示意图

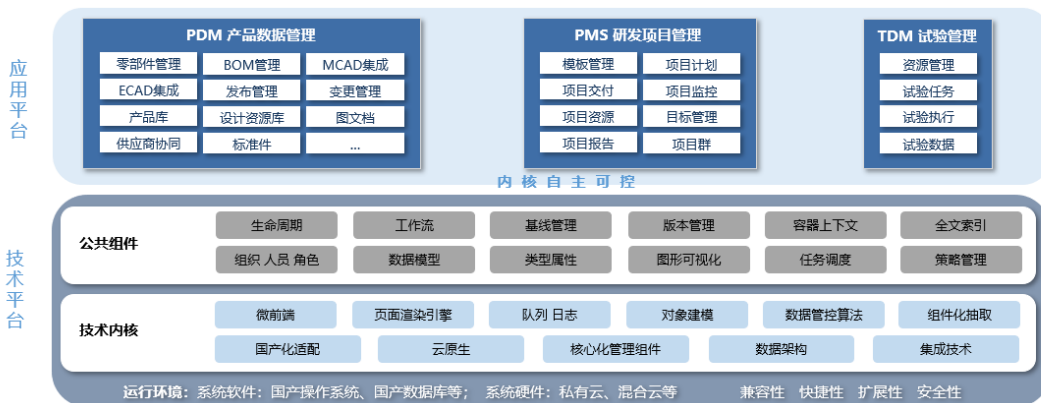
B. 基于 PLM 系统的氢燃料电池堆研发设计协同

a) 主要任务概述

①搭建 PLM 系统基础平台，构建对象建模、权限控制、 workflow 设计等基础能力；

②采用统一的云原生架构，构建上层应用系统（产品数据管理、研发项目管理、试验管理），通过灵活配置开发；

③完成 PLM 平台和设计工具软件、氢燃料电池堆相关的仿真试验工具软件等三方软件集成。



附图 3. 2PLM 系统主要实施任务模块

b) 详细实施方案



附图 3. 3PLM 系统实施方案

C. 实施成效



附图 3. 4 基于 PLM 系统的氢燃料电池堆研发设计协同实施成效

4、中汽创智—基于氢燃料行业图谱平台的产业链数据服务

A. 氢燃料电池堆供应链服务环节

a) 现存问题

目前，我国已初步掌握了氢能制备、储运、加氢、燃料电池和系统集成等主要技术和生产工艺，积累了丰富的经验和产业基础。然而，我国氢能产业仍处于发展初期，产业发展路径尚需进一步探索，尤其针对氢燃料电池堆供应链服务环节，存在以下主要问题：

- ① 供应链成熟度不足，特别是在核心材料和关键零部件的供应方面，尚未实现完全自主可控，导致供应链的稳定性和可靠性面临挑战；
- ② 产业链协同不足，氢燃料电池堆产业链涉及多个环节，包括制氢、储氢、运氢及应用等，这些环节之间缺乏有效的协同机制，导致整体效率不高；
- ③ 长距离、大规模、低成本的氢能储运系统待突破：氢能的资源与需求在空间分布上不匹配，且目前氢能长距离长时间储运技术不够成熟、成本较高，制约了氢能的大规模生产与消纳。

b) 改造方向

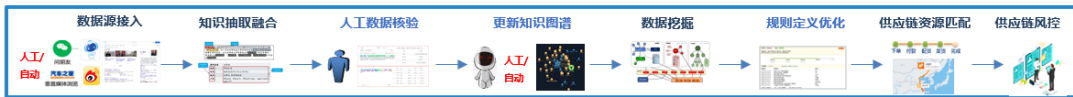
- ① 构建氢燃料产业链图谱平台
- ② 基于产业链图谱平台，提供氢燃料相关的数据服务

- ③ 提供氢燃料供应链的智慧寻源服务
- ④ 提供氢燃料产业链安全服务
- ⑤ 提供氢燃料的供应链风控服务

B. 基于氢燃料电池堆产业链图谱平台

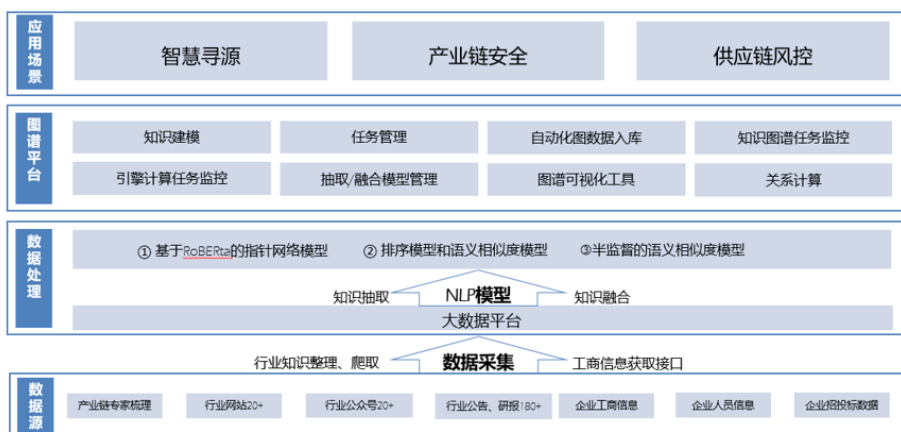
a) 主要任务概述

- ① 氢燃料电池堆产业链专家梳理构建产业链图谱的产品树
- ② 确认氢燃料电池堆产业链相关的数据源，完成数据采集
- ③ 搭建图谱数据处理平台，包括数据模型构建、知识抽取融合、数据校验、数据存储更新等能力
- ④ 基于产业链图谱数据，搭建智慧寻源、产业链安全、供应链风控应用服务



附图 4.1 产业链图谱平台主要实施任务

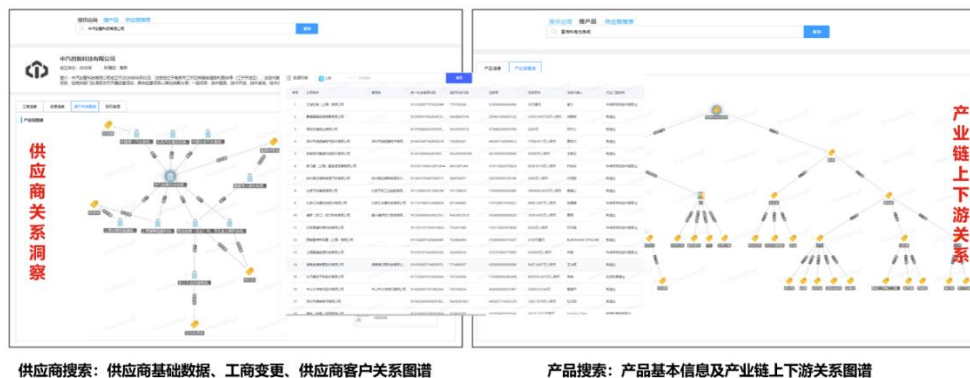
b) 详细实施方案



附图 4.2 产业链图谱平台实施方案

C. 实施成效

- a) 基于图谱平台提供的智慧寻源服务，可快速查询氢燃料电池堆产业链上下游供应商、产品、设备等信息：



附图 4.3 基于产业链图谱平台的智慧寻源

- b) 基于图谱平台提供的产业链安全服务，分析氢燃料电池堆产业节点的供应商结构（国外/国内），非自主可控节点进行特殊标识：



附图 4.4 基于产业链图谱平台的产业链安全

- c) 基于图谱平台提供的供应链风控服务，以大宗原材料价格波动、供应商重要信息变更为基础，沿着产业链传导供应链风险信息，开展氢燃料电池堆供应链风险隐患识别和预警：



附图 4.5 基于产业链图谱平台的供应链风控

5、威孚高科—动力系统核心材料及部件智能装配系统

A.存在的问题

动力系统核心材料及部件的制造装配模式原来基本采用手工，质控上自检+互检交错进行，投入人力较大，装配效率低。综合分析近期产品的质量问題，发现多数因装配质量不过关造成的，事实证明人的准确度识别受环境、自身状态及疲劳强度等因素的影响较大，在长时间高强度的工作过程中，人的注意力会急剧下降，疏忽大意在所难免，极易引发装配质量事故。

B.改造场景

智能装配系统将动力核心部件装配与智能化相结合，紧紧围绕智能装配这一主题进行开发建设，根据汽车核心零部件行业多品种、小批量的特点，以数字化为基础，结合协同机器人+5G+云计算配合实施，构建一个高度灵活的个性化和数字化的智能制造系统。系统可以拓展到 PLM 全生命周期管理中，帮助企业实现信息化，为企业提供更多应用功能。具体包括：

1. 核心部件自动装配流水线改造。

自动装配流水线设计为平面环型，同步输送，配置随行夹具，形成循环的自动化生产线。

该线传动方式：连续、强制节拍、间歇运行、可无级调速；所有机械臂采用协作轻型六自由度协作机器人，柔性夹爪。

2. 机器人实时采集传感器数据、环境数据，通过 5G 网络

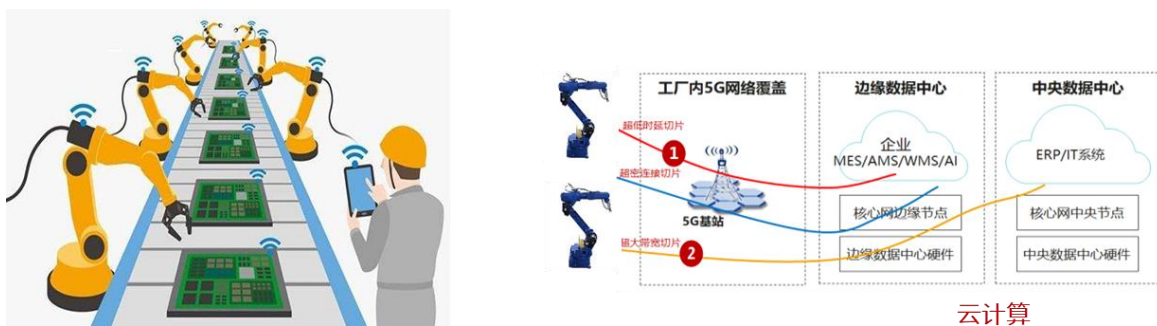
传输实时数据。

3. 云平台训练算法模型下发至机器人，机器人根据 AI 模型进行智能协作。



附图 5.1 智能装配系统机器人

本项目技术方案实施以来，实现了 5G+协作机器人+云计算的云边协同架构，提高机器人协作能力，实现工业机器智能化；5G 低时延技术实现了 M2M 前所未有的互动和协调，提供精确高效的工业控制；云网端一体化架构体系，满足了工业领域智能化设备的扁平化发展需求。



附图 5.2 智能装配系统机器人+5G+云计算

该系统通过数字化装配工具及其监测系统，降低了工人劳动强度，提高了装配效率和质量，同时借助机器视觉系统实时监控工人的操作过程，记录装配信息，具备数据可追溯性，确保动力核心部件的装配质量，真正实现螺纹的防松、防漏拧等功能，最大限度依靠机器来完成装配及监测。

C.建议

在建成智能装配系统后以此项技术为突破口，未来可通过全方位采集动力核心部件装配各个环节的数据，将这些数据汇聚起来进行深度分析，利用数据分析结果来指导各环节的控制与管理决策，并通过效果监测的反馈闭环，实现决策控制持续优化。通过研究动力核心部件的装配工艺，合理规划装配流程，实现了动力核心部件的智能化装配。

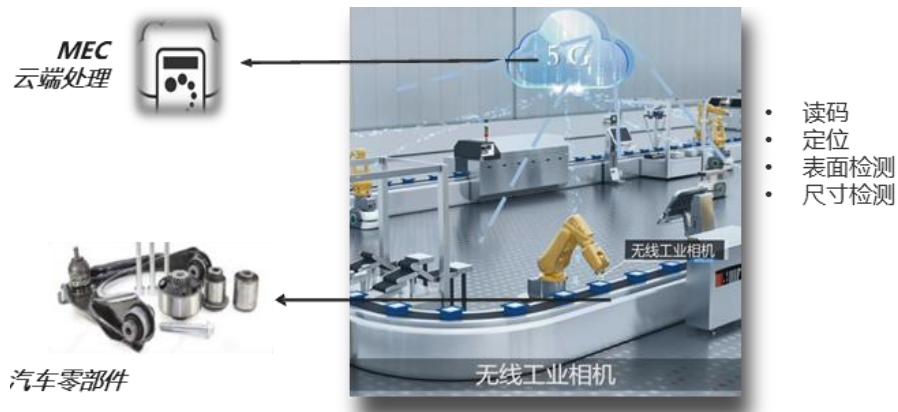
6、威孚高科—动力系统核心材料及部件 AI 智能质检系统

A.存在的问题

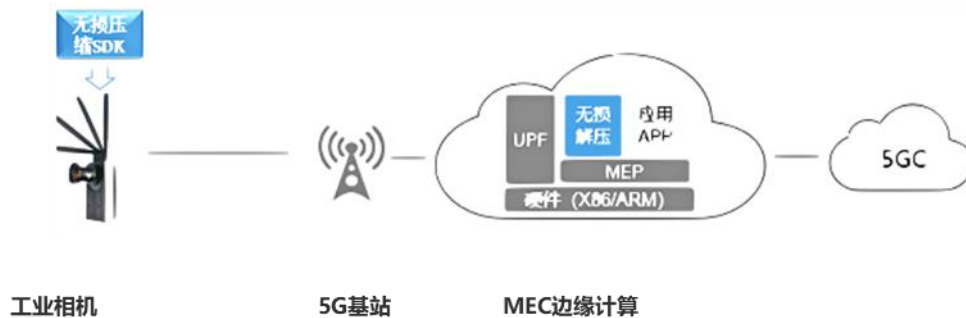
动力系统核心材料及部件的制造属于多品种、小批量的离散型模式，传统的检测存在人工低效、运维复杂、环境多变的问题，造成企业成本高、质量不稳定。

B.改造场景

为解决传统质检方式的缺点，集团进行了 AI 智能质检系统改造。该系统采用工业视觉质检方式，支持图像采集、上传、标注、模型训练、模型测试、模型下发等智能化质检自训练和自优化方式，不仅可以发现装配中存在的已知质量问题，还能自我学习新的缺陷，实现检测能力的自我提升。



附图 6.1 视觉质检方案实施



附图 6.2 视觉采集及处理流程

在具体实施中：

1. 视觉质检整体方案：

根据设计方案，工业相机固定于智能装配产线上，经上工序机械臂装配后的成品，经传输带进入质检区待检；工业相机对质检区的成品进行外观检测，并通过 MEC 边缘计算自动判定质检结果；质检结果反馈给机械臂执行下一步操作，良品放入下料区，次品放入废料区。



附图 6.3 安装相机的质检工位

2. 视觉采集处理

系统采集数据由 MEC 边缘计算、无损压缩 SDK、用户面功能、无损解压服务以及机器视觉应用组成；采集后将高清图像按需进行无损压缩，实现上行高清图像数据 3 到 6 倍无损压缩；MEC 提供工业视觉算法所需的高密算力和安全运行平台；基于云边端协同，通过无损压缩实现“超级上行”。



图 6.4 AI 智能质检系统页面

通过本技术方案的实施，团队解决了机器视觉应用中的高清图像传输对无线上行带宽要求过高的难题，实现了基于神经网络算法及 MEC 边缘计算能力，提升工厂柔性制造及运营效率。

同时通过边缘部署使能机器视觉灵活扩展，适配多元需求，将算力下沉至边缘计算节点，提高质检效率，满足了集团在动力核心部件制造中逐日攀升的自动化质检需求。

C.建议

采用 AI 智能质检系统能够实现对产品缺陷的自动识别、分类和评估，为企业提供高效、精准、智能的质检解决方案。但在具体实施中，需要一些技术难点，如工业制造领域机器视觉应用中的高清图像传输对无线上行带宽要求过高的问题、基于神经网络算法及 MEC 边缘计算能力、多元化需求对算力要求等。

7、适新科技—PLM 平台建设

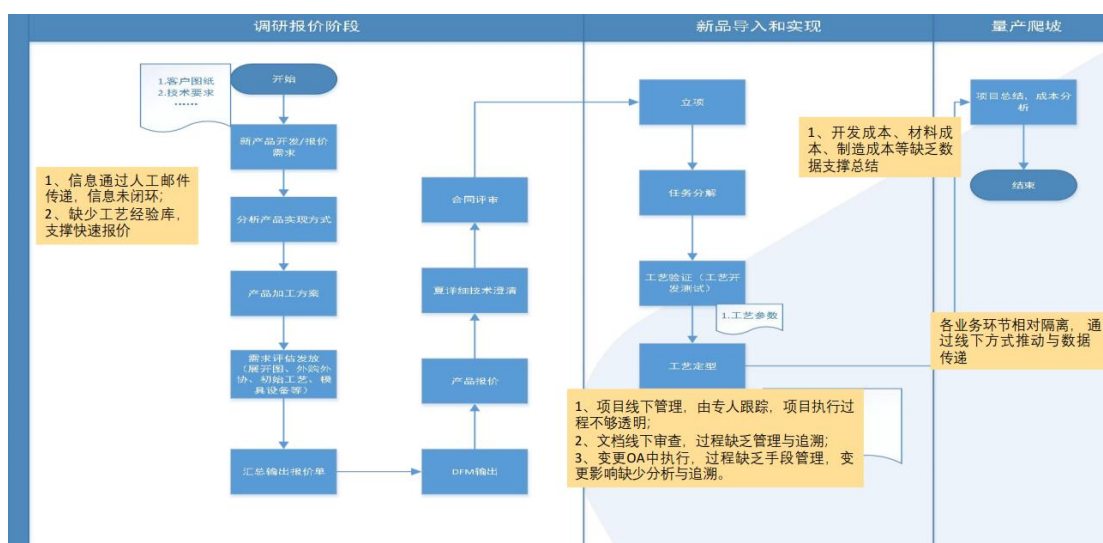
A. 智能化改造数字化转型聚焦环节

a. 环节现存的问题

企业的产品开发和研发数据管理方式的典型场景是：

- 1、信息通过人工邮件传递，信息未闭环；
- 2、项目线下管理，由专人跟踪，项目执行过程不够透明；
- 3、文档线下审查，过程缺乏管理与追溯；
- 4、开发成本、材料成本、制造成本等缺乏数据支撑总结；
- 5、项目以人工线下跟踪、Excel 管理为主，工期、资源、质量、沟通、成本等缺乏精细化管理手段，内、外部协调存在一定的瓶颈，风险问题暂无标准流程规范；

6、产品知识和零部件，缺乏分类和重用机制，缺乏统一的设计资源与知识库、物料，设计标准规范、质量问题等缺乏有效分类管理，产品设计知识共享难。



附图 7.1 业务模式现状

b.环节升级改造方向

①构建以项目为主线的端到端研发管理模式、通过项目来组织、管理研发过程，将质量要求真正落实到技术、管理流程中支撑质量管理体系落地，实现敏捷的项目开发，透明化的管控项目计划、质量、成本；基于数据汇总提供，为考核量化提供数据支撑

②设计知识库规划，建立企业设计知识库及分类规范，提升设计水平打造基于订单的产品快速设计能力，降低交付周期与成本，构建统一的研发资源与知识库，提升数据共享水平

③基于PLM构建企业典型路线库、通过CAD集成及数据复用，提升设计效率，缩短研发周期。

B. 智能化改造数字化转型具体做法

a.任务概述

①统一产品数据源头，运用信息化、数据集成技术，打通产品设计到生产制造传输通道。

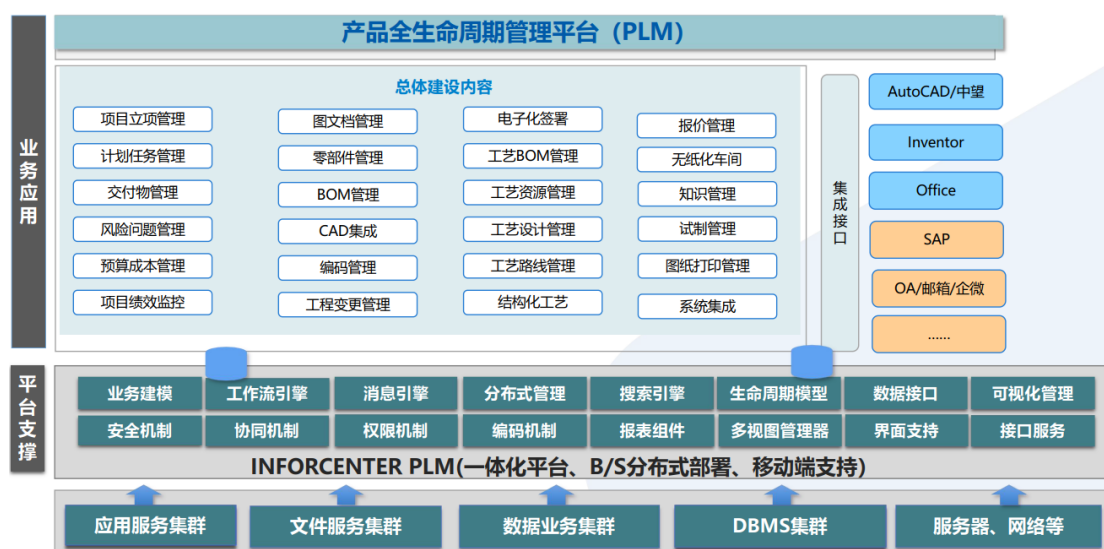
②建立可协同的产品设计开发平台，与CAD等设计工具软件集成，实现以BOM自动化提取；实现为BOM主线，将产品研发过程中相关数据与之关联起来，实现一个产品一本图的管理模式。

③建立项目管理平台，形成产品研发项目管理的协同工作环境，实现项目主计划分解、交付物评审流程、项目进度跟踪、

监控和体系文件完整性检查的全面在线协同管理。

④建立可协同的工艺过程开发平台，结构化工艺管理工艺过程开发作业方式、作业过程和作业结果，提升工艺过程开发效率。

b.详细实施方案



附图 7.2 PLM 平台方案

C. 智能化改造数字化转型现有成效

- ①研发资料无纸化率提升 86%；
- ②工作效率提升 50%，改变以人为主的线下方式为线上的标准化、有序化、数据驱动、自动化的方式进行；
- ③过程管控能力提升 40%，实现流程数据的可视化、透明化、可追溯；
- ④减少设计错误和质量 NCC 损失 50%。

8、适新科技—AGV 搬运自动化智能化改造数字化转型

A. 智能化改造数字化转型聚焦环节

a. 环节现存问题

随着制造业对工业自动化的需求日益加大，物料搬运的准确性、及时性、高效性以及物料的安全性对制造业工厂生产系统有着至关重要的影响。制造业生产系统的传统物料搬运的典型场景是：

- ① 人工介入多，易出错；
- ② 物料管理复杂；
- ③ 搬运流程低效；
- ④ 缺乏实时追踪；
- ⑤ 难以实现自动化集成；
- ⑥ 人工难以在恶劣及危险的环境中作业；
- ⑦ 人力成本高，越来越多的企业面临招工难的问题。

b. 环节升级改造方向

物料搬运高效性、物料搬运准确性、物料搬运安全性、物料搬运灵活性、物料搬运数据可追溯性是实现智能制造及精益生产的必然趋势。AGV 搬运自动化的应用是推动生产工厂实现智能制造和工业自动化的重要环节。为了解决上述物料搬运问题，生产企业需要进行以下方向的改善：

① AGV 搬运自动化小车与生产管理连线，实现物料管理简化，使得物料搬运效率最大化；

②AGV 搬运自动化小车与生产设备数据对接，实时采集与反馈物料信息；

③AGV 搬运自动化小车在工厂实现自动化集成中至关重要；

④AGV 搬运自动化小车可以实现 24 小时连续工作，能够有效解决企业招工难及人力成本高的问题。

B. 智能化改造数字化转型具体做法

a. 主要任务阐述

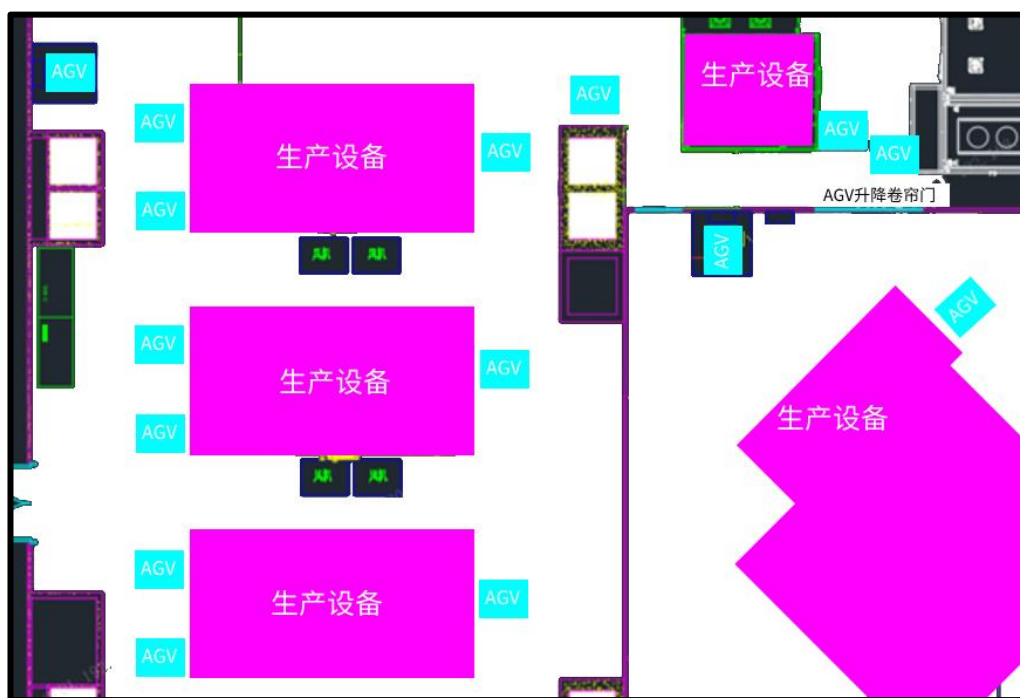
①规划好 AGV 搬运自动化小车的行走路径；

②确认好 AGV 搬运自动化小车与生产设备信号对接类型；

③设计好 AGV 搬运自动化小车与生产设备物料对接载具；

④做好 AGV 搬运自动化小车物流系统融入到工厂智能制造系统中的准备。

b. 详细实施方案



附图 8.1 AGV 布置图

C. 智能化改造数字化转型现有成效

①由于 AGV 搬运自动化小车可靠的调度能力，实现了无人搬运，避免了人为因素带来的操作失误，确保物料搬运的准确性；

②AGV 搬运自动化小车自动完成物料运输任务，节省人力的同时也缩短了生产时间，有效提升了工厂的整体生产效率；

③AGV 搬运自动化小车可以精准地完成物料的及时配送，减少工序间的等待时间，帮助企业缩短生产周期、提高生产的流畅性；

④AGV 与工业机器人、智能工厂的管理软件等其他自动化设备无缝集成，实现生产流程的全面智能化。

9、神华如皋加氢站—加氢站智能化改造数字化转型案例

A.智能化改造数字化转型聚焦环节

a.环节现存的问题

- ① 人为介入环节较多；
- ② 业务流程覆盖不全面；
- ③ 数据收集信息量较少；
- ④ 缺少直观的数据分析。
- ⑤ 系统对接不完善。

b.环节升级改造方向

①全面提升站控系统数据采集：实现对全站工艺设备、安全管理、安防、采购、销售、作业管理、设备维护、备品备件等的全方位采集，可实现全站数据查看和远程监控。

②优化系统数据对接：通过优化车牌识别系统、加氢机系统、PLC系统、供销系统的全方位对接，实现自动生成销售数据、自动发出采购申请，自动生成生产报表，降低人员工作量。

③提升数据应用：通过对采集的各类数据信息，自主分析站内安全状况、作业环节管控、设备维保提醒、客户加氢需求等。

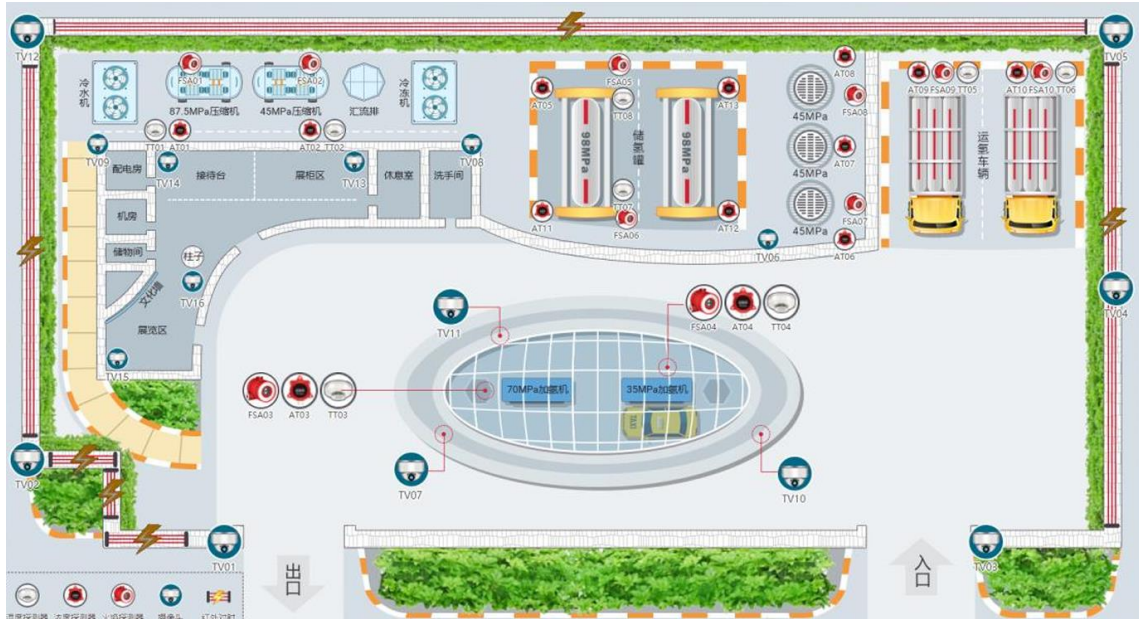
B.智能化改造数字化转型具体做法

a.主要任务概述

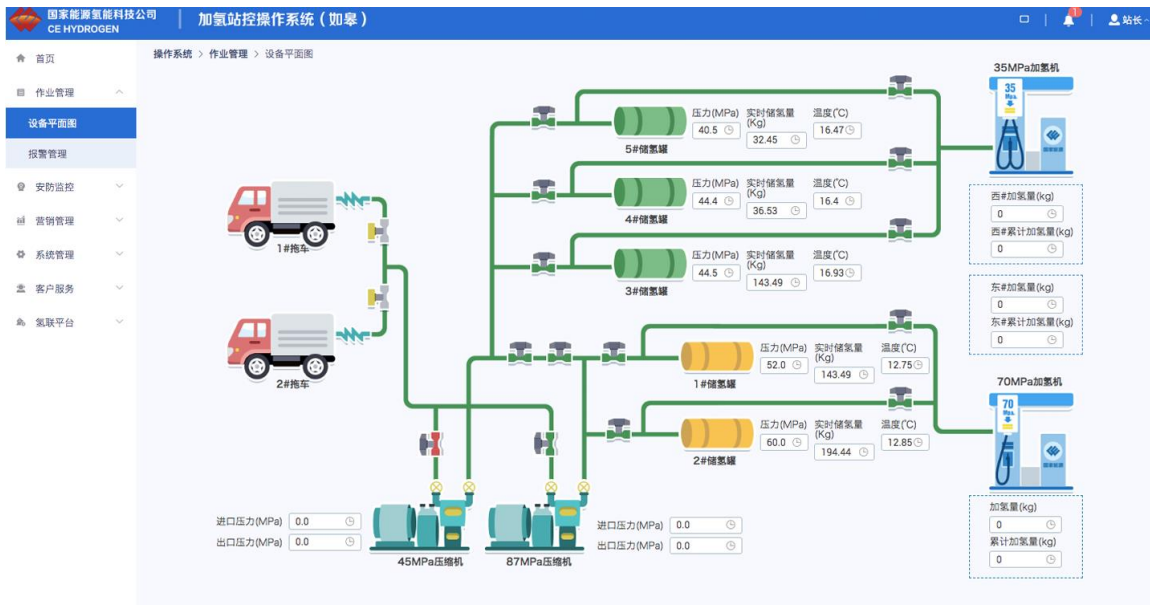
主要基于如皋加氢站进行数字化功能开发。系统包含站数

据的展示，作业系统的监控和维护，增加报警功能、AI 智能识别功能以及氢联管理系统，完成从加氢到车牌识别，再到加氢结束并进行结算支付，最终行程记录的一个过程。

b.详细实施方案



附图 9.1 构建全方位安全监控系统



附图 9.2 强化工艺设备运行数据监测和分析

指标名称	单位	本月数	上年同期数	同比增减(%)	本年累计数	去年累计数	同比增减(%)	
购氢数量	公升	-	7800	-	1515	2800	-45.89	
加氢站购氢支出	氢气出厂价	元/公升	100	317	-68.45	212	100	112
	储运租车租赁费	元/月	100	357	-71.99	2112	100	2012
	氢气运输费	元/(车*公里)	10	345	-97.1	121	100	21
	氢气送料费	元/月	10	561	-98.22	27	300	-91
	加氢数量	公升	257	679	-62.15	464	105	341.9
35MPa加氢机销量收入	销量收入	元	2570	6790	-62.15	4640	1050	341.9
	平均单价	元/公升	10	10		9.67	10	-3.3
	销量次数	次	15	43	-65.12	30	6	400
70MPa加氢机销量收入	销量数量	公升	59	391.5	-84.93	73	157.5	-53.65
	销量收入	元	590	3906	-84.9	730	1575	-53.65
	平均单价	元/公升	10	9.67	3.41	10	10	
运营支出费用	销量次数	次	4	27	-85.19	6	9	-33.33
	电费	元/月	1000	1111	-9.99	1233	1000	23.3
	氢气消耗	元/月	40	-		170	-	
	水费	元/月	100	111	-9.91	323	100	223
	材料	元/月	1000	1011	-1.09	1223	1000	22.3
维修费用	元/月	100	1011	-90.11	323	1000	-67.7	
人工成本	元/月	100	1011	-90.11	323	1000	-67.7	
其他费用	元/月	100	111	-9.91	423	100	323	
费用合计	元/月	2440	4255	-42.66	4005	4100	-2.32	
加氢站其他盈利	元/月	1000	111	800.9	2123	100	2023	
加氢站利润	元/月	1520	-350003	100.43	-105825	-311475	66.02	

附图 9.3 自动进行数据分析并生成报表



附图 9.4 随时掌握客户车辆用氢状况，实现预约加氢

C.智能化改造数字化转型现有成效

- (1) 全站管理规范、科学化，提升数字化安全保障。
- (2) 减少了人员数据统计和分析，初步实现数字化生产。
- (3) 可视化管理增强，各级管理人员可随时查看生产状况。
- (4) 客户服务能力质量不断提升。

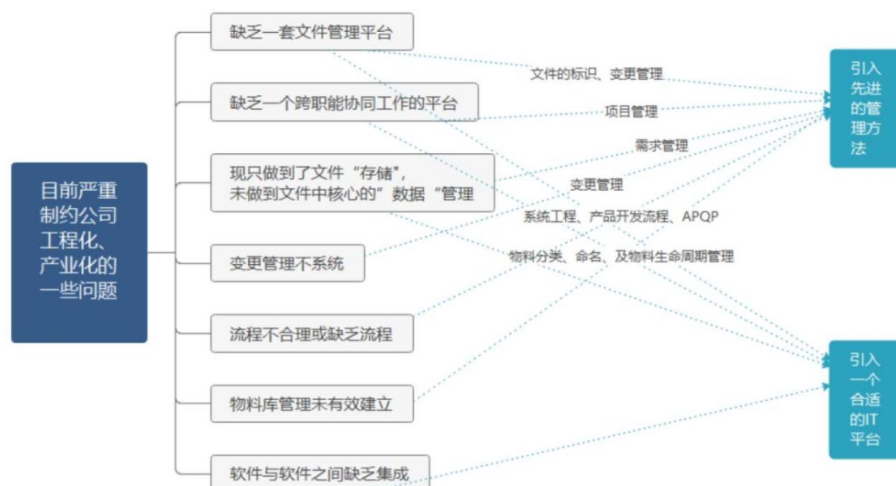
10、势加透博—产品设计智能化改造数字化转型

A.智能化改造数字化转型聚焦环节

a.环节存在的问题

两级增压无油离心空压机在研发数据上比较复杂，且涉及机械、电子、软件等多个学科数据量大、管理难度高，加上非标订单占比很高，产品开发过程往往边设计、边采购、边制造、边调试，变更频繁、协同难。在技术管理、数据管理上面临一些共性的挑战与问题。

- 缺乏一套文件管理平台，一个跨职能协同工作的平台。
- 现只做到了文件“存储”未做到核心的“数据”管理
- 变更管理不系统、不标准、不规范。
- 流程不合理或缺乏流程，执行也不到位。
- 物料库管理未有效建立，存在诸多问题。
- 软件和软件之间缺乏集成。



附图 10.1 研发数据及管理现状

b、环节升级改造方向

信息化服务助力企业进行产品全生命周期管理（PLM），将成熟的管理规范与行业、企业的需求相结合，形成企业研发管理和数据管理的最佳实践，使用 IT 工具将成熟的工作流和信息流自动化、电子化，提高效率。

为了解决上述问题、势加透博公司进行以下方向的改善：

- 构建统一的 PLM 数字化协同研发平台。
- 执行统一编码管理体系，建立零部件分类库，零部件标准化。
- 标准化图文档管理和电子化流程体系，统一的设计资源库。
- 与 CAD 图纸设计软件进行集成，无缝对接数据。



附图 10.2 产品研发生命周期管理模型

B、智能化改造数字化转型具体做法

a、主要任务概述

1. 搭建数据管理基础平台，搭建统一编码体系，预留与其他系统集成接口。

2. 搭建数据模型，文档图纸模型模版，设置电子化流程及审批角色，BOM 搭建功能。

3. 与 CAD 设计软件进行集成，打通与设计软件的数据传递。

4.设置权限及角色，搭建各类统计数据及报表，建立统一的标准知识库。

b.详细的实施方案



附图 10.3 产品设计数据平台方案

C.智能化改造数字化转型现有成效

1.将孤立的产品技术材料形成结构化、关联化、网状化、流程化和标准化。

2.统一企业技术协同管理平台，沉淀企业技术知识积累，提升设计效率。提升企业技术管理效率。

3.提升企业标准化管理水平，确保企业的技术体系管理规范(或技术管理标准)得到很好的落地执行。研发流程得到固化，将管理要求贯彻到位。

4.为销售及市场部门推送及时、准确的产品技术信息；为工艺部门直接推送图纸、EBOM、变更信息等；为采购部门直接推送外购件清单及其相关信息；为制造车间等部门提供产品图纸、技术资料等；为售后部门提供准确的产品配件、备件维护信息；为ERP、CRM、MES、SRM、CAPP等提供产品原始数据信息。

11、苏州金龙—能源管理智能化改造数字化转型

A.智能化改造数字化转型聚焦环节

a.环节存在的问题

(1) 场景一：高层领导宏观把控企业生产能耗情况。在传统模式下，企业能耗生产往往通过手动统计后通过层层申报的方式逐级报送给凌达，这导致企业生产能耗数据出现了严重的滞后性。

(2) 场景二：设备管理员监控重点设备能耗运行情况。在传统模式下，场内设备管理与对厂内设备没有管控手段，无法监管设备运行状况，有需要时临时测量。同时，采集到的数据无法有效转化成易于辨识的可视化图表，需要人工分析，从而容易导致生产无法有据可依，生产问题追溯没有凭据。

(3) 场景三：成本会计核算能耗情况。

- i. 手工抄表，人工统计，统计节点少，无法精细化成本核算；
- ii. 数据时效性差，抄表时刻会有误差，造成电耗量统计不准确；
- iii. 手工记账导致成本核算数据不准确，分析手段单一；
- iv. 表计缺失，除关键设备外，对辅助类设备用能没有计量。

b.环节升级改造方向

①基于根云平台，打造能源管控系统实现生产“透明化”，根据设备开机、作业等关键指标对比生产排产计划，监管生产异常。实现成本核算“可视化”，通过能耗数据自动采集，聚合、

计算生成吨钢成本报表，对分厂单耗、产量、能耗进行趋势分析，完善考核制度，进一步管理用能异常。通过系统数据支撑，开展月度/年度分析管理，优化作业时间，提高开机率，综合提升分厂精细化生产能力和能耗管控能力。

②基于根云平台，通过接入各类仪表及数采硬件，通过电压报警统计和电能参数实时展示，有效支持厂内设备安全生产。通过设备电压、电流的趋势对比，判断设备运行是否正常，提高设备可靠性。支撑单耗管理，通过设备作业分析，判断辅助类设备是否按时停机。

③能耗数据精细化，各厂电表已覆盖到各类生产辅助设备和厂区公共区域。能耗数据时效性精确到每小时，根据企业核算时间自动抄表，确保单耗成本准确性。对工厂单耗、产量、能耗进行趋势分析，完善考核制度，进一步管理用能异常。

B.能源管理具体实施方案

①建立设备互联平台。建立设备互联平台和能耗在线监测系统，基于IoT技术，利用5G网络，实时采集设备能耗及工况数据，对设备的价值指标建模和统计分析，以科学成熟的设备指标体系，给管理层提供设备数据驾驶舱，设备指标：开机时长、作业时长、开机率、作业率、冗余率、瓶颈率，多维度对比分析：组织维度、工艺维度、厂房维度、灵活自定义维度，实时、准确的设备指标数据，支撑管理人员进行科学的决策和经营洞

察，有效避免真实信息被层层“过滤”，同时，也为设备的利旧、淘汰、改造、更新换代，提供真实有效的数据支撑。

②将268块电、水、气表进行设备联网自动采集每台电表的各项数据，实时、准确、迅速数据上传根云平台，对大功率高能耗设备实时在线监控，为节能降耗提供数据支撑。

③数字化平台



附图 11.1 能源管理平台：

C.智能化改造数字化转型成效

①实施监控设备运行状态，对设备能进行有效地科学评估；

②解放员工抄表人工成本，避免误抄，漏抄现象处理；

③对公司各部门用能成本进行精确地监控和核算，督促车间各部门控制用能成本，开展一系列降本措施，从而减低公司运营成本；利用数据统计技术，开展节能项目，预计年降本 100 万元左右。

附件 4

服务商目录

序号	名称	所在地	主营业务及优势
1	用友网络科技股份有限公司	北京	用友网络科技股份有限公司是亚太本土管理软件、ERP 软件、集团管理软件、人力资源管理软件、客户关系管理软件、财政及行政事业单位管理软件、汽车行业管理软件、烟草行业管理软件、内部审计软件及服务提供商，也是中国领先的企业云服务、医疗卫生信息化、管理咨询及管理信息化人才提供商。
2	伙伴智慧(北京)信息技术有限公司	北京	伙伴智慧（北京）信息技术有限公司成立于 2012 年，专注于构筑企业内部协作平台及商业化应用整体解决方案的研发和运营。通过先进的企业协作网络 huoban.com ，推动企业内部员工之间协作方式变革，增强企业特别是中小企业的可持续化发展能力。
3	特来电新能源股份有限公司	苏州	主营特来电“虚拟电厂”，通过充电网、微电网、储能网聚合电动汽车电池和梯次电池，通过有序充电、光伏微网、移动储能、梯次储能、调峰调频、车网互动等资源和技术，既有效解决了城市高峰缺电痛点，还能有效消纳更多新能源电，成为新型电力系统的新载体。
4	思普软件(上海)有限公司	上海	是中国领先的企业管理创新信息化平台供应商,致力于为企业提供全球领先的研发管理解决方案，帮助企业实现产品研发走向模块化平台化、实现研发组织和流程变革，大幅度提升企业研发效率和质量，大幅度提升产品标准化、平台化程度；致力于实现机电软包（结构设计、电子设计、软件设计、包装设计）多专业协同开发；致力于实现产品设计、产品工艺一体化管理，为后续企业信息化系统提供正确、及时的产品基础数据；致力于实现产品开发全过程管理，并通过输出数据和过程数据实现人员绩效管理，提升对研发人员的管理水平。
5	江南大学	无锡	江南大学物联网工程学院由原通信与控制工程学院和信息工程学院合并组建而成，体现了物联网系统 C3SD 架构的特点，即建立在传感网络(sensor network)之上的通讯(communication)、计算(computation)、控制(control)及海量数据处理(data)的集成。学院具有电子信息类学科交叉综合优势，拥有“轻工过程先进控制”教育部重点实验室、

			“物联网技术应用”教育部工程研究中心、“111 计划”工业过程智能控制创新引智基地、物联网工程应用研究平台(教育部科技发展中心首批建设单位)、无锡市“工业装备节能与控制技术”重点实验室等学科科研平台。
6	中汽创智科技有限公司	南京	<p>1) 自主 PLM: 提供研发管理领域数字化解决方案, 基于统一技术平台底座, 全自主知识产权, 包含 PDM (产品数据管理)、PMS (研发项目管理)、ALM (软件开发管理) 功能模块, 可按业务需要选用相应模块和深度定制化开发, 提供优质的业务数字化咨询、解决方案规划和实施交付服务。</p> <p>2) 汽车行业数据服务: 依托国家工信部项目“建设新能源汽车智能制造产业链协同平台”, 基于人工智能、大数据、知识图谱等关键技术, 结合产业链专家梳理和数据校验, 构建了汽车行业产业链图谱平台, 当前已具备智慧寻源、供应链风控、产业链安全等使用场景; 同时联合中国汽车工业协会等行业内权威合作伙伴, 可按需提供定制化的行业数据服务。</p>
7	山东山大华天软件有限公司	济南	业务范围包括 PLM、PDM、CAPP、3DCAPP、CAD、CAM、MES、WMS、SRM、LES 等信息化解决方案。
8	无锡东领智能科技股份有限公司	无锡	致力于智能生产管理软件的研发、销售与服务。以生产大数据管理为核心, 通过产品数据管理 (PDM) 和生产执行系统 (MES) 的整体解决方案。
9	北京融链科技有限公司	北京	基于自主研发的区块链数据基层搭建平台和上层大数据 AI 处理平台, 针对分布式电力交易、智能微网能源综合管理, 及电力设备智能运维、氢能产业管控与 FCVs、智慧能源与智慧电网等不同场景提供了智能化的数据处理方案。公司专注于能源商业智能技术及相关互联网化产品的研发, 以向能源用户和能源供应商提供基于区块链+AI 技术的数据产品和解决方案为主营业务, 作为国内首家拥有能源区块链基层数据搭建平台的公司, 融链科技亦独立研发了国内首个基于区块链技术的分布式数据区块链化装置-融链魔方, 用以解决实时数据区块链转化, 分布存储等问题。

附件 5

技术缩略语

序号	缩略语	全称	释义
1	DCS	Distributed Control System	集散型控制系统
2	MES	Manufacturing Execution System	制造执行系统
3	SPC	Statistical Process Control	统计过程控制
4	AR	Augmented Reality	增强现实
5	MR	Mixed Reality	混合现实
6	VR	Virtual Reality	虚拟现实
7	CRM	Customer Relationship Management	客户关系管理
8	PLM	Product Lifecycle Management	产品研发及工艺管理
9	SRM	Supplier Relationship Management	供应链协同管理
10	ERP	Enterprise Resource Planning	企业资源管理
11	APS	Advanced Planning and Scheduling	高级计划排程
12	LES	Logistic Execution System	仓储物流管理
13	ALM	Application Lifecycle Management	资产全生命管理
14	QMS	Quality Management System	全面质量管理
15	IIOT	Industrial Internet of Things	工业物联网平台
16	LIMS	Laboratory Information Management System	实验室管理系统
17	TSN	Time-Sensitive Networking	时间敏感网络
18	RFID	Radio Frequency Identification	射频识别技术
19	WMS	Warehouse Management System	仓库管理系统
20	CAM	Computer Aided Manufacturing	计算机辅助制造
21	CAD	Computer Aided Design	计算机辅助设计
22	SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	数据采集与监控系统
23	OPC	OLE for Process Control	自动控制技术
24	PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
25	SDN	Software Defined Network	软件定义网络
26	PaaS	Platform as a Service	平台即服务
27	SaaS	Software as a Service	软件运营服务
28	IaaS	Infrastructure as a Service	基础设施即服务

附件 6

江苏省制造业“智改数转网联”典型场景 参考指引

智能制造场景是智能工厂的核心组成部分，是指面向制造过程各个环节，通过新一代信息技术、先进制造技术的深度融合，部署高档数控机床与工业机器人、增材制造装备、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备、智能物流与仓储装备、行业成套装备等智能制造装备，集成相应的工艺、软件等，实现具备协同和自治特征、具有特定功能和实际价值的应用。根据“十三五”以来智能制造发展情况和企业实践，结合技术创新和融合应用发展趋势，凝练总结了 3 个方面 16 个环节的 45 个智能制造典型场景，为智能工厂及智慧供应链建设提供参考。

一、生产全过程

1.计划调度环节。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，提高劳动生产率和订单达成率，可参考以下场景：

(1) 生产计划优化。构建企业资源管理系统，应用约束理论、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。

(2) 车间智能排产。应用高级计划排程系统（APS），集成调度机理建模、寻优算法等技术，实现基于多约束和动态扰动条件下的车间排产优化。

(3) 资源动态配置。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，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。

2.生产作业环节。部署智能制造装备，通过资源动态配置、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，可参考以下场景：

(4) 产线柔性配置。部署智能制造装备，应用模块化、成组和产线重构等技术，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。

(5) 精益生产管理。应用六西格玛、5S 管理和定置管理等精益工具和方法，开展相关信息化系统建设，实现基于数据驱动的人、机、料等精确管控，提高效率，消除浪费。

(6) 工艺动态优化。部署智能制造装备，搭建生产过程全流程一体化管控平台，应用工艺机理分析、多尺度物性表征和流程建模、机器学习等技术，动态优化调整工艺流程/参数。

(7) 先进过程控制。部署智能制造装备，依托先进过程控制系统（APC），融合工艺机理分析、多尺度物性表征和建模、

实时优化和预测控制等技术，实现精准、实时和闭环的过程控制。

(8) 智能协同作业。部署智能制造装备，基于 5G、TSN、边缘计算等技术建设生产现场设备控制系统，实现生产设备、检测装备、物流装备等实时控制和高效协作。

(9) 人机协同制造。应用人工智能、AR/VR、新型传感等技术，提高高档数控机床、工业机器人、行业成套装备等智能制造装备与人员的交互、协作能力，实现加工、装配、分拣等生产作业的人、机自主协同。

(10) 网络协同制造。建立网络协同平台，推动企业间设计、生产、管理、服务等环节紧密连接，实现基于网络的跨企业、跨地域的业务并行协同和制造资源配置优化。

3.仓储物流环节。部署智能物流与仓储装备，通过配送计划和调度优化、自动化仓储、配送管理，提高库存周转率，降低库存成本，可参考以下场景：

(11) 智能仓储。建设智能仓储管理系统（WMS），应用条码、射频识别、智能传感等技术，依据实际生产作业计划，实现物料自动入库（进厂）、盘库和出库（出厂）。

(12) 精准配送。集成智能仓储系统和智能物流装备，应用实时定位、机器学习等技术，实现原材料、在制品、产成品流转全程跟踪，以及物流动态调度、自动配送和路径优化。

4.设备管理环节。部署智能传感与控制装备，通过设备运行

监测、故障诊断和健康管理，提升设备综合效率，降低运维成本，可参考以下场景：

（13）在线运行监测。集成智能传感、5G、大数据分析等技术，通过自动巡检、在线运行监测等方式，判定设备运行状态，开展性能分析和异常报警，提高设备运行效率。

（14）设备故障诊断与预测。综合运用物联网、机器学习、故障机理分析等技术，建立故障诊断和预测模型，预测故障失效模式，开展预测性维护，提高设备综合利用率。

（15）设备运行优化。建设设备健康管理系统，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。

5.质量管控环节。部署智能检测装备，通过在线检测、质量分析、质量追溯和闭环优化，提高产品合格率，降低质量损失率，可参考以下场景：

（16）智能在线检测。部署智能检测装备，融合 5G、机器视觉、缺陷机理分析、物性和成分分析等技术，开展产品质量在线检测、分析、评价和预测。

（17）质量精准追溯。建设质量管理体系（QMS），集成 5G、区块链、标识解析等技术，采集并关联产品原料、设计、生产、使用等全流程质量数据，实现全生命周期质量精准追溯。

(18) 产品质量优化。依托质量管理体系(QMS)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。

6.安全管控环节。部署安全监控和应急装备,通过安全风险识别,应急响应联动,提升本质安全,降低损失工时事故率,可参考以下场景:

(19) 安全风险实时监测与应急处置。依托感知装置和安全生产管理系统,基于智能传感、机器视觉、特征分析、专家系统等技术,动态感知、精准识别危化品、危险环节等各类风险,实现安全事件的快速响应和智能处置。

(20) 危险作业自动化。部署智能制造装备,集成智能传感、机器视觉、特种机器人、5G等技术,打造面向危险作业的自动化产线,实现危险作业环节的少人化、无人化。

7.能源管理环节。部署能耗采集装置,通过能耗实时采集、监测,能耗数据分析与调度优化,提高能源利用率,降低单位产值综合能耗,可参考以下场景:

(21) 能耗数据监测。基于能源管理系统(EMS),应用智能传感、大数据、5G等技术,开展全环节、全要素能耗数据采集、计量和可视化监测。

(22) 能效平衡与优化。应用能效优化机理分析、大数据和深度学习等技术,优化设备运行参数或工艺参数,实现关键设备、关键环节等能源综合平衡与优化调度。

8.环保管控环节。部署环保监测装置，通过排放采集与监控，排放分析与优化，降低污染物排放，减少单位产值碳排放量，可参考以下场景：

(23) 污染监测与管控。搭建环保管理平台，应用机器视觉、智能传感和大数据等技术，开展排放实时监测和污染源管理，实现全过程环保数据的采集、监控与分析优化。

(24) 碳资产与废弃物管理。开发碳资产管理平台、废弃物料管理平台和行业成套装备，集成智能传感、物联网、区块链等技术，实现全流程的碳排放追踪、分析、核算和交易以及废弃物处置和循环再利用全过程的监控、追溯。

9.工厂建设环节。依托数字基础设施，推动工业知识软件化，加快数据流通，通过工厂数字化建模、仿真、优化和运维，提升制造系统运行效率，降低运维成本，可参考以下场景：

(25) 工厂数字化设计。应用工厂三维设计与仿真软件（CAX），集成工厂信息模型、制造系统仿真、数字孪生和AR/VR等技术，高效开展工厂规划、设计和仿真优化，实现数字化交付。

(26) 数字孪生工厂建设。应用建模仿真、多模型融合等技术，构建装备、产线、车间、工厂等不同层级的数字孪生系统，通过物理世界和虚拟空间的实时映射，实现基于模型的数字化运行和维护。

(27) 工业技术软件化应用。应用大数据、知识图谱、知识自动化等技术，将工业技术、工艺经验、制造知识和方法沉淀为数据和机理模型，进行数据化显性化，与先进制造装备相结合，建设知识库和模型库，开发各类新型工业软件，支撑业务创新。

(28) 数字基础设施集成。部署工业互联网、物联网、5G、千兆光网等新型网络基础设施，建设工业数据中心、智能计算中心、工业互联网平台以及网络、数据、功能等各类安全系统，完善支撑数字业务运行的信息基础设施。

(29) 数据治理与流通。应用云计算、大数据、隐私计算、区块链等技术，构建可信数据空间，实现企业内数据的有效治理和分析利用，推动企业间数据安全可信流通，充分释放数据价值。

二、产品全生命周期

10. 产品设计环节。通过设计建模、仿真优化和虚拟验证，实现数据和模型驱动的产品设计，缩短产品研制周期，提高新产品产值贡献率，可参考以下场景：

(30) 产品数字化研发与设计。应用设计、仿真软件 and 知识模型库，基于复杂建模、物性表征与分析、多目标优化等技术，搭建数字化协同设计环境，开展产品、配方等设计、仿真与迭代优化。

(31) 虚拟试验与调试。构建虚拟试验与调试环境，面向产品功能、性能、可靠性等方面，应用数字孪生、AR/VR、知识图谱等技术，通过全虚拟仿真或者半实物半虚拟仿真，开展产品调试和测试验证，缩短验证周期，降低研发成本。

(32) 数据驱动产品设计优化。集成产品设计、生产作业、售后服务等环节数据，结合人工智能、大数据等技术，探索生成式设计，持续迭代产品模型，驱动产品形态、功能和性能的创新。

11.工艺设计环节。通过工艺建模与虚拟制造验证，实现基于数字模型的工艺快速创新与验证，缩短工艺开发周期，降低生产成本，可参考以下场景：

(33) 工艺数字化设计。应用工艺设计、仿真软件和工艺知识库，基于机理建模、物性表征和数据分析技术，建立加工、装配、检测、物流等工艺模型，进行工艺全过程仿真，预测工艺设计缺陷并优化改进。

(34) 可制造性设计。打通工艺设计、产品研发、生产作业等环节数据，结合知识模型库，全面评价与及时改进产品设计、工艺的可加工性、可装配性和可维护性等，降低制造与维护成本。

12.营销管理环节。依托数字销售渠道，通过市场与客户数据分析，精准识别需求，优化销售策略，提高人均销售额，可参考以下场景：

(35) 销售驱动业务优化。应用大数据、机器学习、知识图谱等技术，构建用户画像和需求预测模型，制定精准销售计划，动态调整设计、采购、生产、物流等方案。

(36) 大规模个性化定制。部署智能制造装备，依托产品模块化、生产柔性化等，以大批量生产的低成本、高质量和高效率提供定制化的产品和服务。

13.售后服务环节。依托智能产品，通过运行数据采集、分析，开展产品健康监控、远程运维和维护，提高顾客的服务满意度，可参考以下场景：

(37) 产品远程运维。建立产品远程运维管理平台，集成智能传感、大数据和 5G 等技术，实现基于运行数据的产品远程运维、健康监控和预测性维护。

(38) 主动客户服务。建设客户关系管理系统(CRM)，集成大数据、知识图谱和自然语言处理等技术，实现客户需求分析、服务策略决策和主动式服务响应。

(39) 数据驱动服务。分析产品运行工况、维修保养、故障缺陷等数据，应用大数据、人工智能等技术，开拓专业服务、设备估值、融资租赁、资产处置等新业务，创造新价值。

三、供应链全环节

14.供应链计划环节。通过打通供应链上下游生产、仓储、物流等环节，开展供应链计划协同优化，提高供应商准时交付率，可参考以下场景：

(40) 供应链计划协同优化。应用大数据、人工智能等技术，结合市场需求预测和仓储、生产、物流等状态分析，实现采购计划、生产计划、配送计划的协同编制与同步更新。

(41) 产供销一体化。通过人工智能、云计算等技术，打通销售、生产和采购系统的业务流、数据流，实现销售、生产和采购的协同优化。

15.供应链采购与交付环节。通过供应链采购订单和交付物流的实时监控，提高供应商交付率，降低采购成本，可参考以下场景：

(42) 供应链采购动态优化。建设供应链管理系统(SCM)，集成寻优算法、知识图谱、5G 等技术，实现采购订单的精准跟踪、可视化监控和采购方案动态优化。

(43) 供应链智能配送与动态优化。依托运输管理系统，应用实时定位、人工智能等技术，实现运输配送全程跟踪和异常预警、装载能力和配送路径优化。

16.供应链服务环节。通过供应链上下游数据采集与分析，精细化管理供应商，预测供应链风险并动态响应，确保订单交付，可参考以下场景：

(44) 供应商数字化管理。建立供应商管理系统(SRM)，集成大数据、知识图谱等技术，实现供应商数据管理以及基于数据分析的供应商评价、分级分类、供应商寻源、优选推荐。

(45) 供应链风险预警与弹性管控。建立供应链管理系统，集成知识图谱、云计算等技术，开展供应链风险隐患识别、定位、预警和高效处置。