



中国智能制造发展研究报告

# 智能工厂

中国信通院



# 前言

智能制造是推进制造强国战略的主攻方向，加速制造企业设备、产线、车间和工厂的数字化、网络化、智能化升级，从根本上变革制造业生产方式和资源组织模式。同时，在经济下行压力、人口红利消失、消费结构升级、新冠疫情冲击等多种因素推动下，制造企业加快转型步伐，工厂正向高效化、智能化、绿色化方向跃迁升级，不断涌现出技术创新、应用领先、成效显著的智能工厂。在此背景下，全面梳理智能工厂应用场景，总结智能工厂发展路径，研判制造业高质量发展趋势，明确成效考核，对“十四五”期间高水平推进智能制造具有重要参考意义。

本报告围绕智能工厂建设趋势、场景、路径、评价和实践五个方面进行了阐述。趋势方面，围绕要素驱动、手段优化、生产变革、资源配置和可持续维度进行了分析。场景方面，梳理了智能工厂建设落地的十大场景，归纳了场景差异化应用模式。路径方面，总结了原材料、装备制造、消费品和电子信息四大行业的差异化发展路径以及特色模式。评价方面，从价值增长、运营优化和可持续发展三个维度提出了一套可量化转型价值效益的绩效指标体系。实践方面，列举了若干行业代表性领先工厂的主要转型变革和关键绩效改善。

本报告分析数据与案例均来源 2021 年度智能制造试点示范工厂和优秀场景，同时转型依然在持续进行，我们对转型认识也有待进一步深化，报告中存在的不足之处，欢迎大家批评指正。

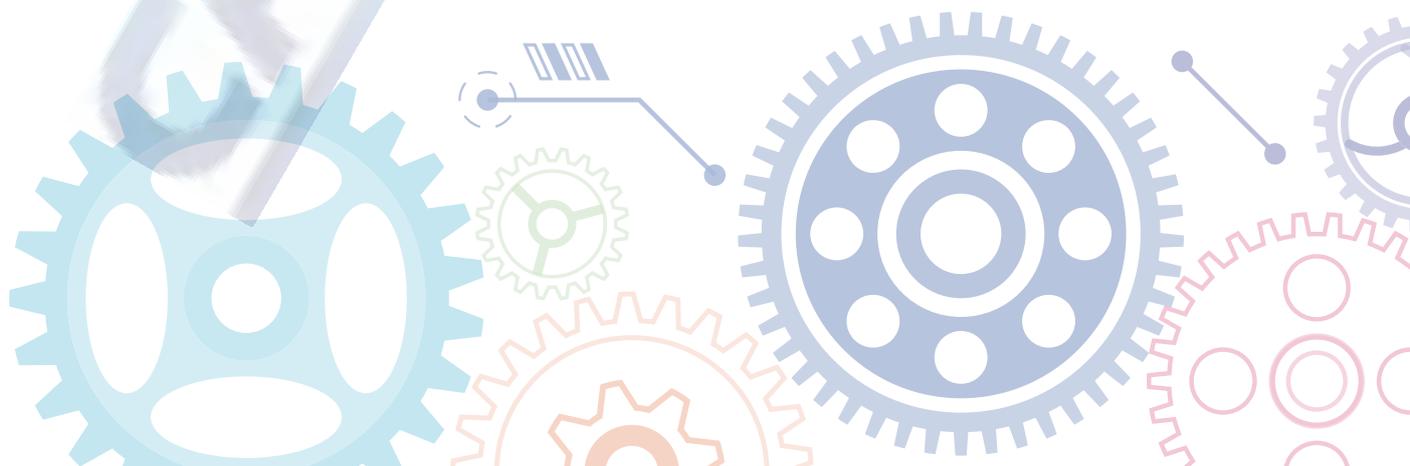
# 目录

---

<b>01</b>	<b>智能工厂走深向实，呈现五大趋势</b>	1
	● “数据驱动”：数据成为智能应用关键使能	2
	● “虚实融合”：在数字空间中超越实际生产	4
	● “柔性敏捷”：柔性化制造将成为主导模式	5
	● “全局协同”：单点优化迈向全局协同变革	6
	● “绿色安全”：资源效率与社会效益相统一	8

---

<b>02</b>	<b>智能场景梯次落地，形成多样应用</b>	11
	● 数据与算法驱动的精准确工业质检	14
	● 数字空间中高效规划和迭代工艺	15
	● 物料自动存取和管控的智能仓储	16
	● 智能机器与人员协同的敏捷作业	17
	● 全环节质量数据汇聚与精准追溯	18
	● 设备可视化运行监控与故障洞察	19
	● 自适应生产变化的产线柔性配置	20
	● 实时精准与动态响应的智能排程	21
	● 全要素透明可控的精益生产管理	22
	● 产供销一体化协同生产计划优化	23



---

<b>03</b>	<b>垂直行业模式差异，走出特色路径</b> .....	25
	• 原材料.....	28
	• 装备制造.....	30
	• 消费品.....	31
	• 电子信息.....	32

---

<b>04</b>	<b>绩效指标量化效益，穿透价值迷雾</b> .....	35
	• 数字投资持续增长，效益模糊.....	36
	• 示范工厂改善显著，照亮价值.....	37
	• 绩效评估显性成效，助力转型.....	38
	• 领先标杆关注绩效，策划举措.....	40

---

<b>05</b>	<b>展望</b> .....	51
-----------	-----------------	----



CAICT 中国信通院

CAICT 中国信通院

# 01

---

智能工厂走深向实，呈现五大趋势

## （一）“数据驱动”：数据成为智能应用关键使能

传统生产要素逐步数字化，数控机床、工业机器人等广泛应用和深度互联，大量工业数据随之产生，同时研发、运营等制造业务逐渐向数字空间转移，进一步加速了工业数据的积累。加之大数据、人工智能等技术突破与融合应用，为海量工业数据挖掘分析提供了有效手段。**构建“采集、建模、分析、决策”的数据优化闭环，应用“数据+模型”对物理世界进行状态描述、规律洞察和预测优化，已成为智能化实现的关键路径**，在工厂各个领域展现出巨大赋能潜力。

**一是数据驱动的增强研发范式。**数据与研发创新全流程相结合，应用数据模型、智能算法和工业知识，建立超越传统认识边界的创新能力，推动研发创新范式从实物试验验证，转向虚拟仿真优化，进而迈向基于数据的设计空间探索、创新方案发现和敏捷迭代开发。如宁德时代结合材料机理、大数据分析和人工智能算法探索各种材料基因的结合点，加速电解液、正极、包覆等电池材料的开发，缩短研发周期 30%，降低研发成本 30%。

**二是基于数据的生产过程智能优化。**基于海量制造数据采集、汇聚、挖掘与分析，融合工业机理，构建具有感知分析和洞察解析复杂制造过程的数字模型系统，通过对工艺流程、参数的闭环优化与动态调整，实现自决策和自优化生产制造过程。如宝武鄂城钢铁，基于“数据+机理”构建转炉工艺过程模型，破解转炉炼钢过程“黑箱”，动态优化和实时控制氧枪、副枪及加料等操作参数，炼制效率提升 23%，炼制能耗降低 15%。





**三是基于数据的精准管控与智能决策。**通过对工厂中人、机、料、法、环等全要素的深度互联与动态感知，打通生产过程的数据流，通过数据自动流动化解复杂制造系统管控的不确定性，实现精准感知、动态配置和智能决策的生产运营管理。如潍柴动力构建智能管理与决策分析平台，汇聚生产数据，基于大数据分析结合人工智能算法，开展动态资源调度、设备预测维护、能耗智能优化等数据应用，生产效率提升 30%，生产成本降低 15%。

**四是数据加速模式业态创新与价值链重构。**通过数字技术连接各类终端、产品、设备等，基于数据分析开展远程运维、分时租赁、产融结合等新服务与新业态，进而推动价值链高价值环节的产生或转移以及价值网络的全面重构。如帕菲特机械构建售后增值服务运维平台，基于产品数据分析开展租赁、运输、金融等增值服务，服务效益提升 30%；山河智能装备基于数据实时监控装备状态，探索工程机械融资租赁服务，2022年 4月通过融资租赁方式推动工程机械出口 RCEP成员国，首期合同资金 1000万元。

## （二）“虚实融合”：在数字空间中超越实际生产

随着数字传感、物联网、云计算、系统建模、信息融合、虚拟现实等技术推广应用，实现了物理系统和数字空间的全面互联与深度协同，以及在此过程中的智能分析与决策优化。使得工业领域能够在数字空间中对现实生产过程进行高精度刻画和实时映射，以数字比特代替物理原子更高效和近乎零成本的开展验证分析和预测优化，进而以获得的较优结果或决策来控制 and 驱动现实生产过程。**数字孪生是在数字空间中对物理世界的等价映射，能够以实时性、高保真性、高集成性地在虚拟空间模拟物理实体的状态**，已成为在工业领域虚实融合实现的关键纽带。

**一是基于数字孪生样机的仿真分析与优化。**通过建立集成多学科、多物理量、多尺度的，可复现物理样机的设计状态，且可实现实时仿真的虚拟样机，在数字空间中完成设计方案的仿真分析，功能、性能测试验证，多学科设计优化以及可制造性分析等，加速设计迭代。如莱克电气应用结构、电子、电磁等 CAD（计算机辅助设计）工具，基于设计资源库，构建电机产品多学科虚拟样机，并开展机械、电磁、热等多学科联合仿真分析与优化，产品研制周期缩短 55%。

**二是基于生产数字孪生的制造过程监控与优化。**依托装备、产线、车间、工厂等不同层级的工厂数字孪生模型，通过生产数据采集和分析，在数字空间中实时映射真实生产制造过程，进而实现仿真分析、虚拟调试、可视监控、资源调度、过程优化以及诊断预测等。如一汽红旗采用三维可视化和资产建模技术，实时接入车间生产数据和业务系统数据，建立了整车制造工厂数字孪生模型，从全局 / 产线 / 细节等不同角度实时洞察生产状态，对故障 / 异常状况进行实时识别、精准定位和追踪还原分析，生产异常处理效率提升 30%，工厂产能提升 5%。

**三是基于产品运行数字孪生的智能运维与运行优化。**在产品机械、电子、气液压等多领域的系统性、全面性和真实性描述的基础上，通过采集产品运行与工况数据，构建能够实时映射物理产品运行状态，以及功能、性能衰减分析的运行数字孪生模型，从而对产品状态监控、效能分析、寿命预测、故障诊断等提供分析决策支持。如陕鼓动力依托设备智能运维工业互联网平台，通过装备数据采集、识别和分析，结合工业机理，构建透平装备运维数字孪生模型，实现产品健康评估、故障诊断和预测性维护，维护效率提高 20%以上，维修生产成本降低 8%以上。



### （三）“柔性敏捷”：柔性化制造将成为主导模式

目前，消费方式正逐步由标准化、单调统一向定制化、个性差异转变。如服装行业积极落地多种成衣的在线定制，家具行业大力推广全屋家居的客户定制，汽车行业加速探索乘用车用户直连制造，钢铁行业小批量订单需求增长等。传统大规模量产的生产模式已无法在可控成本范围内满足个性化需求的敏捷响应和快速交付。**工厂亟需通过构建柔性化生产能力，以大批量规模化生产的低成本，实现多品种、变批量和短交期的个性化订单的生产和交付。**主要通过四个方面的协同来实现“柔性”。

**一是产品模块化快速开发。**基于数字化建模工具和数据管控平台，依托产品模块库、设计知识库和配置规则库等，根据设计需求，选择、配置和组合产品模块，并通过参数化设计快速修改模块设计，进而产生定制化产品的设计方案、工艺方案等。如曲美家居应用三维家居设计工具，依托“一千余个设计案例库和五万余套设计样本库”，通过设计配置规则和参数化设计，快速根据客户选配生成定制产品设计模型和工艺流程，店面定制家居设计效率提高 400%。

**二是柔性资源配置与动态调度。**泛在连接各类生产资源，实时感知生产要素状态，面向小批量定制工单，精确制定主生产计划、物料需求计划、车间任务排产，柔性配置和组织生产资源，并实时根据订单状态和异常扰动，动态调整计划排程，调度生产资源。如老板电器通过生产要素的全面互联感知，构建工业指挥大脑，以小批量定制工单驱动，基于数据模型和智能算法优化生产资源配置，实时进行调度，设备综合效率提升 23%，生产效率提升 45%。



**三是柔性自适应加工。**依托柔性可重构产线、柔性工装夹具和柔性线上物流搬运系统，基于数据对单件或小批量产品进行精准识别、资源匹配和生产全过程的精确控制，进而实现工艺流程不同，作业内容差异的多品种变批量定制产品的柔性生产。如 TCL 构建基于 5G 的可重构柔性液晶生产线，结合 5G 边缘计算，实现按订单快速调整产线布局，自动更新设备参数等，转产时间缩短 93%，产能提升 10%。

**四是柔性供应链系统。**打通产业链供应链，建立面向研发、生产、运营等业务的供应链协同机制，基于跨企业的数据共享和实时反馈增强供应链资源柔性配置、业务动态协同和变化快速适应能力，进而实现供应链对定制需求的敏捷响应和快速交付。如广汽埃安构建供应商协同平台，打通多级供应商数据渠道，推动“客户、生产、供应、物流”各个环节紧密协同，建立定制订单联动的柔性供应链体系，能够准确传递定制订单的供货需求，快速组织生产和交付采购订单，定制化能力提升 35%。

#### （四）“全局协同”：单点优化迈向全局协同变革

随着 5G、物联网等网络技术的全面应用，泛在互联，万物互联已成为数字时代的典型特征。网络使得制造系统可以不断超越时空的限制进行更广泛地连接，将人、设备、系统和产品等要素连接起来，打通全要素、全价值链和全产业链的“信息孤岛”，使数据能够在不同系统、不同业务和不同企业之间高效流动。**进而基于数据协同，通过网络化方式进行资源要素的共享、调度，企业内外业务的集成打通，推动从数字化设计、智能化生产等局部业务优化，向网络化协同、共享制造等全局资源协同优化迈进。**

**一是生产全流程集成控制与协同优化。**基于设备、控制、管控和运营多层次制造系统和信息系统集成，通过数据协同开展计划排程、资源调度、生产作业和运营管控的集成联动，进而实现全生产流程各环节的统筹调度、资源组织、集中控制、高效衔接和动态优化。如宝武武汉钢铁依托工业互联网平台打通炼钢、连铸和轧钢三大工艺流程，整合传统分布式操作室，构建集控中心，实现炼钢、连铸、轧钢全流程一体化排程、调度、控制、监视和运维，生产效率提升 12%，人员比例优化 30%。



**二是全供应链一体化集成与协同。**依托跨企业信息系统集成或构建供应链协同平台，打造供应链协作入口，连接采购、库存、物流、销售等前后端的供应链环节，实现数据联动的供应链集成优化，提升内外部整体协作效能。如蓝思科技构建供应商管理协同平台，向上游供应商提供云协作门户，集成供应商的生产、仓储、运输管理等系统，实时传递订单、计划等信息，同时采集供应商生产、物流信息，实现可视化管控与资源调度，采购成本降低 8%。

**三是生产端与消费端打通与协同优化。**打通生产系统和消费互联网，以消费者精准洞察、需求敏捷响应和全生命周期体验交付为核心，重构生产模式、运营方式和商业模式，优化全链条资源配置与协作效率，进而快速创新产品服务来满足个性化需求，挖掘长尾市场，推动规模经济向范围经济转变，进而构建新竞争优势。如酷特智能基于工业互联网打通成衣消费端和生产端，用户可在线定制服装，自动匹配版型和服装设计，依托高度柔性化智能生产系统实现“一人一单”定制生产与直接交付，推动收入增长 16%。

**四是基于网络化协同的产业资源配置与全局优化。**通过打造产业级平台，泛在连接全产业链资源要素，构建全局资源共享平台，在更大范围、更广领域内组织、配置和协同制造资源，并基于资源状态实时感知，应用智能算法和大数据分析，动态优化资源配置，实现全局资源效率提升。如博创智能构建注塑行业的工业互联网平台-塑云平台，推动企业注塑机上云上平台，基于实时感知设备运行状态，租赁闲置设备产能，提高行业资源配置效率，并在此基础上创新预测性维护等增值服务，创造新收益。

## （五）“绿色安全”：资源效率与社会效益相统一

安全生产和绿色环保是工厂经营发展的生命线，是构建和谐社会的重要保障，是保证国民经济可持续发展的重大问题。近年来，在双碳战略目标引领下，开展智能工厂建设和数字化转型的同时，**以数字技术赋能节能环保安全技术创新，应用人工智能、大数据、5G、工业互联网等提升工厂能耗、排放、污染、安全等管控能力**，逐步迈向绿色制造、绿色工厂和绿色供应链，加快制造业绿色化转型，创造良好的经济效益和社会效益。

**一是能耗监控分析与能源效率优化。**基于数字传感、智能电表、5G等实时采集多能源介质的消耗数据，构建多介质能耗分析模型，预测多种能源介质的消耗需求，分析影响能源效率的相关因素，进而可视化展示能耗数据，开展能源计划优化、平衡调度和高能耗设备能效优化等。如长城汽车通过实时采集室内外温度和制冷机系统负荷，利用校核系统模型实时决策制冷运行的最佳效率点，动态控制制冷机并联回路压力平衡和水泵运行频率，降低制冷站整体能耗，节能率达到16%以上。

**二是安全监控预警与联动应急响应。**针对主要危险源进行实时监控，基于采集数据分析自动识别安全风险隐患并实时预警；广泛连接各类安全应急资源，构建应急预案库，自动定位安全事故，推荐应急响应预案，并实时联动调度应急资源，快速处置安全事故。如万华化学建设应急智慧系统，集成视频、报警、气象仪器等数据源，构建应急预案库，实现事故定位、预案启动、应急响应、出警通知以及相关设备和资源自动化联动，能够高效处置安全事故，降低损失。





**三是全过程环境监测与污染优化。**依托污染物监测仪表，采集生产全过程多种污染物排放数据，建立多维度环保质量分析和评价模型，实现排放数据可视化监控，污染物超限排放预警与控制，污染物溯源分析，以及环保控制策略优化等。如南京钢铁通过对 220 个总悬浮微粒无组织排放监控点的实时数据采集，构建和应用智慧环保模型，实现环保排放的预测预警与环保控制策略优化，降低生产异常带来的超标排放风险 80%，加热炉排口硫超标现象下降 90%。

**四是全链条碳资产管理。**通过采集和汇聚原料、能源、物流、生产、供应链等全价值链的碳排放数据，依托全生命周期环境负荷评价模型，实现全流程碳排放分布可视比较，碳排放趋势分析、管控优化以及碳足迹追踪等。如中石化镇海炼化构建碳排放管理系统，在线计算各环节碳排放、碳资产数据，实现碳资源采集、计算、盘查和交易全过程管控，按照单台装置每月减少碳资产计算工作量 1 天测算，全年降低成本 130 多万元。

CAICT 中国信通院

CAICT 中国信通院

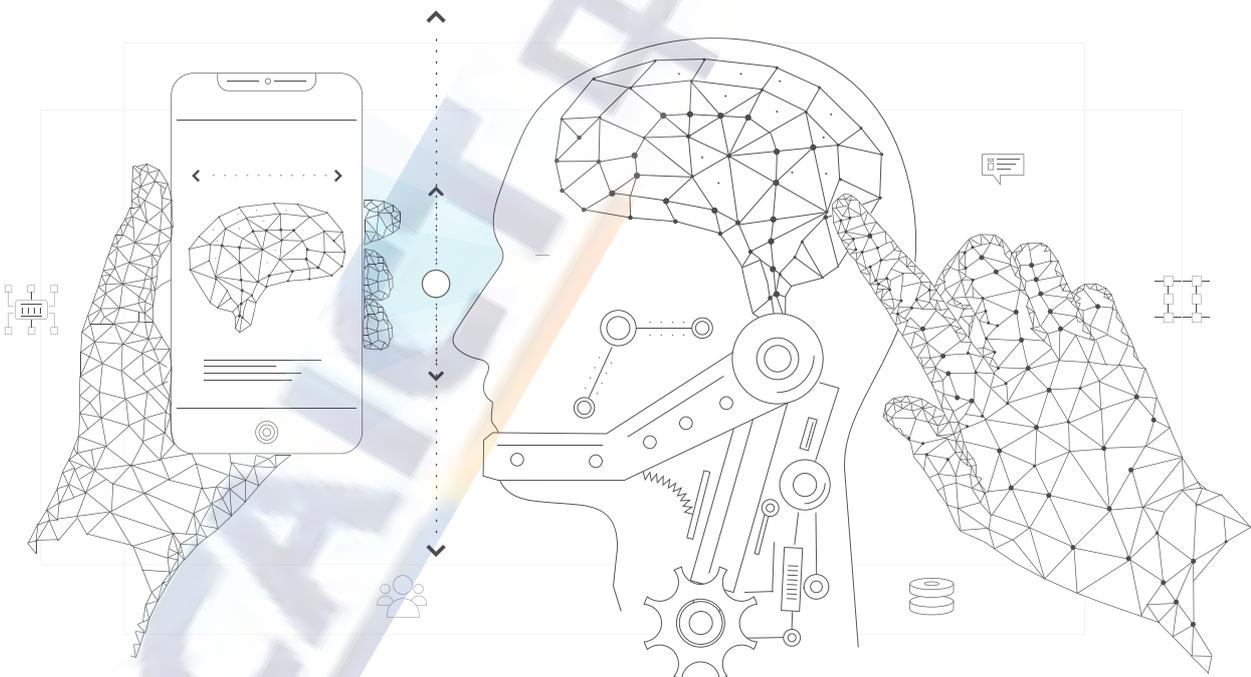
# 02

---

智能场景梯次落地，形成多样应用

以典型场景为基本要素，加速数字技术与全产业链、全价值链和全要素的融合渗透，是深化智能制造发展的新路径探索。本报告参考“2021年度智能制造试点示范行动”《智能制造典型场景参考指引（2021年）》<sup>1</sup>，对来源 2021年度智能制造示范工厂和优秀场景<sup>2</sup>的数据进行统计分析，具体结果如图 1所示。

总体来说，智能工厂发展路径以制造过程和生产管理的智能优化切入，加速供应链打通和协同，并向价值链上游研发设计和下游销售服务等高价值环节延伸，最终推动生产方式、商业模式和业务形态的创新变革。一是智能工厂的主攻方向依旧是制造领域，主要集中在计划调度、生产作业和质量管控的三大核心环节，相关智能场景应用数量占比 55.4%。二是生产管理也是工厂转型改善重点，管理应用占比 20.5%，主要集中在设备管理、能源管理和安全管控三大环节。三是数据驱动的研发变革和商业创新并行探索，各占比 10.6%、13.5%，未来研发变革和商业创新将创造新的价值，具有更大潜力。应用数量排名前十的“十大智能场景”分别是智能在线检测、工艺数字化设计、智能仓储、人机协同作业、质量精准追溯、在线运行监测与故障诊断、产线柔性配置、车间智能排产、精益生产管理、生产计划优化，总计占比超过 50%。基本集中在工厂生产运营核心的工艺规划、计划排程、加工作业和生产管控高价值领域，符合智能工厂建设主观需求和客观规律，具备较为显著的示范性。



<sup>1</sup> 《关于开展 2021 年度智能制造试点示范行动的通知》

<sup>2</sup> 《2021 年度智能制造示范工厂揭榜单位和优秀场景名单》

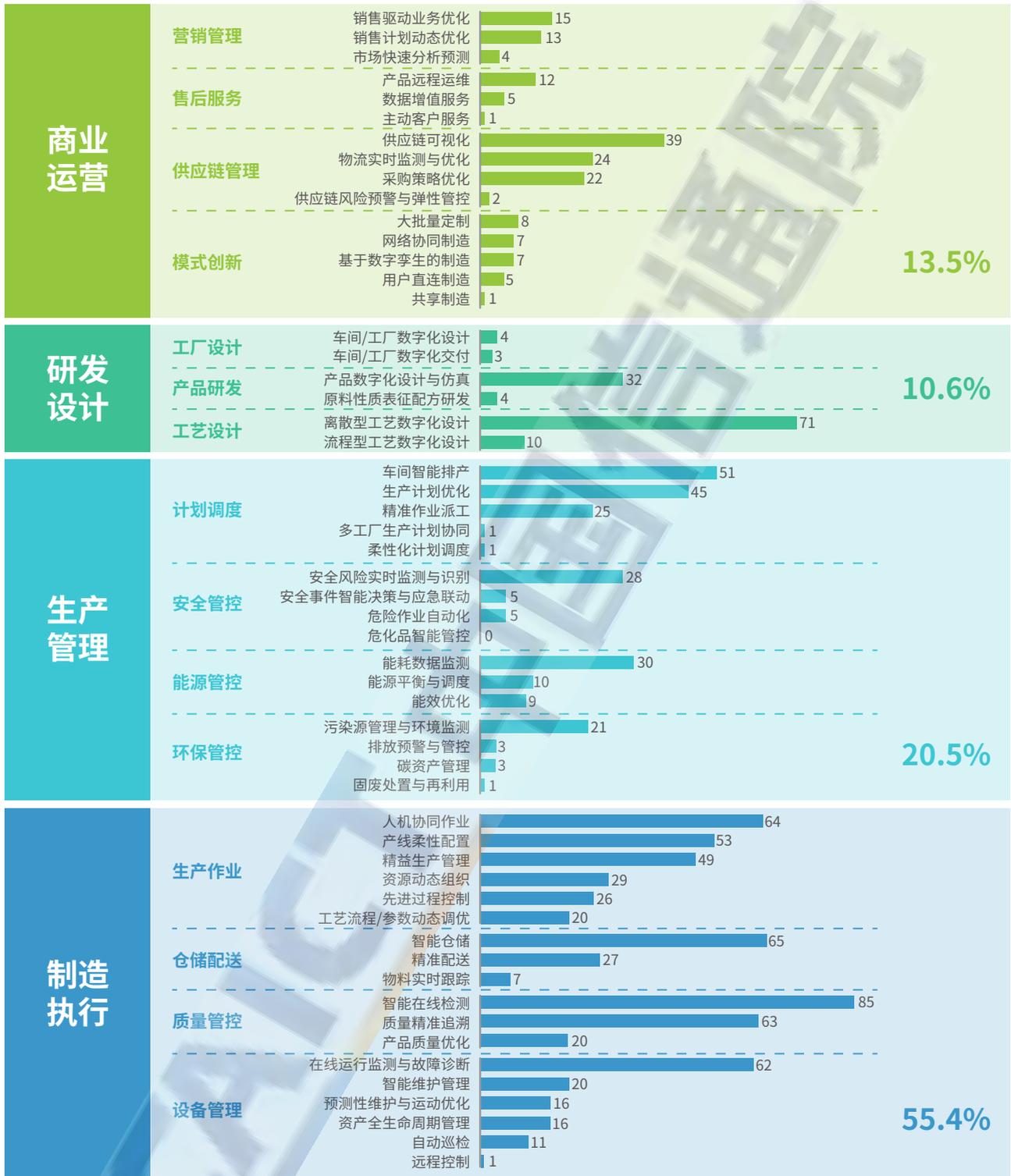


图 1 智能制造试点示范智能场景应用数据统计

## （一）数据与算法驱动的精准工业质检

质量检测是采用科学的检测手段和方法，测定产品特性是否符合规定的过程。质量检测效率和精度在一定程度上影响着生产效率和产品质量。传统工厂依托人工开展质量检测活动，首先检测效率相对较低，影响产线生产节拍；其次存在一定的质量误判率，导致不合格品流入后道工序或者市场，造成质量损失；同时质量检测数据无法采集、管理和追溯，难以支撑质量数据应用。**聚焦高效精确质检和质量持续改进需求，将机器视觉、数字传感、人工智能、边缘计算等与检测装备相结合，打造智能检测装备，通过接触或非接触方式在线采集产品质量数据，应用“工业机理+数据分析”构建的质量分析模型实时识别、判断和定位质量缺陷，进而自主决策质量合规性。**智能在线监测大幅度提高质检效率，提高缺陷识别率，降低质量损失风险，同时推动质量管理全流程的数字化，进而支撑全流程质量追溯和质量分析优化。

智能在线检测当前已在钢铁、电子、汽车、食品等行业的物料质量检测、加工和装配质量检测、产品外观检测、包装缺陷质量检测等方面得到广泛应用，如华菱钢铁 5G+人工智能的棒材钢材表面缺陷自动检测，降低质量损失年均 500 万元。主要包括以下三类典型应用模式。

**一是外观表面质量检测。**应用工业相机采集被测对象外观或表面图像数据，通过结合工业机理模型、大数据分析和深度学习算法等构建的缺陷分析模型自适应识别和定位表面质量缺陷，筛选不合格产品。如钢材表面缺陷检测，LED 液晶面板表面缺陷检测，食品饮料包装破损检测等。

**二是几何尺寸公差检测。**应用平面视觉测量或者三维视觉测量等方式采集对被测对象几何参数，通过“工业机理+数据分析”构建的测量算法进行几何特征提取、尺寸公差测量和质量合规性判定。如洗衣机总装箱体尺寸视觉检测，航天高精度零件车削加工轮廓尺寸检测等。

**三是装配质量防错检测。**应用工业相机采集被测对象装配状态图像数据，通过深度学习等算法等进行关键特征提取，零件识别和定位，基于识别的装配零件数量和装配位置的正确性，判断质量合规性，如发动机活塞销卡环装配检测，PCB 电路板 SMT 贴装错误检测等。



## （二）数字空间中高效规划和迭代工艺

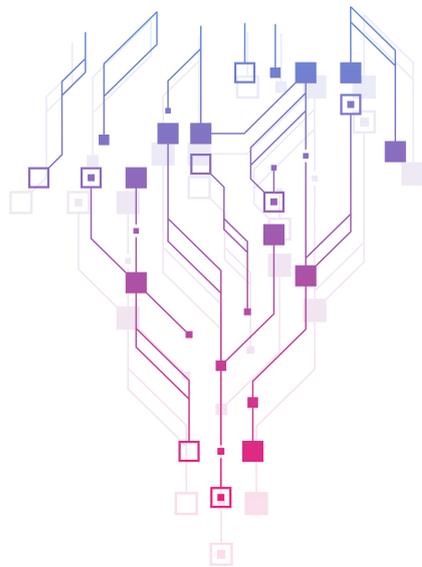
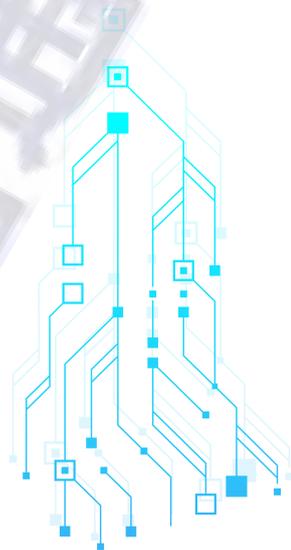
工艺设计是将产品设计转化为一系列加工工序和资源配置要求的过程，是设计和制造之间的关键桥梁。工艺设计质量和效率影响着研发周期、生产成本和产品质量。传统工厂以二维工艺设计为主，首先二维环境下无法有效开展仿真验证，工艺质量完全依赖于人员经验，大量实物验证增加了成本；其次工艺知识难以固化、显性化和复用，设计过程的重复造轮子现象明显；同时无法有效衔接三维产品设计和生产制造，工艺桥梁作用弱化明显，增加了设计向制造的转化周期。面向**高效、高质量规划制造过程和精准指导生产作业的需求，将基于模型的定义、先进制造、知识图谱等技术与计算机辅助工艺设计、计算机辅助制造等系统结合，全面应用三维模型结构化表达工序流程、制造信息和资源要素，开展加工、装配、生产等虚拟验证与优化迭代。**工艺数字化设计全面提升了工艺设计效率、质量和可操作性，加速工艺知识积累和重用，大幅度减少实物验证次数，降低研制成本，同时全面打通设计和制造的信息孤岛，显著提升产品研制效率。

工艺数字化设计已在航空航天、汽车与零部件、电子信息等行业的机械加工、表面喷涂、组件焊接、整机装调等工艺中得到广泛应用，如鱼跃医疗实施基于模型的机械加工、装配等工艺设计，设计时间缩短 30%。主要包括以下三类典型应用模式。

**一是三维工艺设计与仿真验证。**在产品三维模型上添加制造信息，关联设备、工装、人员等制造资源，构建结构化工艺，借助加工、装配等工艺仿真工具在虚拟环境中快速迭代优化工艺设计，如白车身三维焊装工艺设计，铸造工艺数值模拟仿真等。

**二是基于知识的快速工艺设计。**建立加工方案库、工艺参数库、工装库等结构化工艺知识库，通过知识检索或算法推荐等精准匹配和复用知识内容，驱动工艺快速设计。如基于知识的航空发动机装配工艺设计，基于工装设计模板的锻造模具参数化快速设计等。

**三是设计工艺制造一体化协同。**打通设计、工艺和制造环节的业务流和数据流，基于统一设计数据源，开展面向制造的设计，并行工艺规划与设计，工艺作业指导实时下发车间可视化展示，以及制造问题实时反馈驱动设计优化。如航天产品研制的并行工程，配电装备设计制造一体化等。



### （三）物料自动存取和管控的智能仓储

仓储管理是对物料入库、储存、盘点和出库的管控过程，是工厂物资采购、存储、流通和使用的关键环节。仓储管理效率和质量关系着工厂的生产效率和产品成本。传统工厂仓储管理以人工作业为主，首先物料出入库和库存盘点作业效率低下，时常由于出入库的滞后导致生产物料无法准时齐套；其次信息管理粗放，库存和出入库信息记录不清，帐实不符、物料呆滞问题明显，拉高库存成本；同时无法与计划、调度、配送、生产等环节协同，难以适应敏捷柔性生产模式下拉动式物料精准配套需求。**面向高效、精准和低成本库存管理以及生产协同优化的需求，将人工智能、射频识别、智能传感等技术与立体库、AGV（自动导引运输车）等仓储设备以及 WMS(仓库管理系统)、WCS(仓储控制系统)等仓储管控系统相融合，实现物料自动出入库和信息记录，库存可视化管理，以及库位和存储空间自适应优化。**智能仓储实现了物料存取作业和库房管理的少人化，提升库存管理效率质量，降低库存成本，同时库存环节的数字化、智能化打通了物料和加工环节，支撑基于生产需求的准时物料配送。

智能仓储目前广泛应用于消费电子、汽车制造、食品药品、钢铁石化等行业的原料、辅料、在制品、成品等物料存储和库房管理，如广州白云电器应用智能仓储与自动物流，提升物流效率 12.58%。主要包括以下三类典型应用模式。

**一是自动化物料存取。**依托 WMS 系统进行出入库、库存等信息管理，应用 WCS 系统自动控制立体库、堆垛机、穿梭机、积放链等库存装备，结合人工智能规划和优化库位，进行物料的自动识别、存储、分拣和出库。如石化工厂的聚烯烃自动化仓储，钢铁工厂的钢卷自动化库区等。

**二是协同联动物料存取。**基于 WMS 系统与生产计划、车间执行、采购销售等系统集成打通，以生产投料、采购入库、在制品流转、订单发货等计划信息驱动物料自动出入库作业。如与 MES（制造执行系统）集成的在制品协同出入库，与 SRM（供应商管理系统）集成的采购物料协同入库等。

**三是实时拉动式物料存取。**将智能仓储系统与各工序生产管控直接对接，匹配工序生产节拍，依据工序实际物料消耗和物料需求预测开展实时拉动式物料出入库和库存管控。如汽车车身涂装工序拉动的白车身出库、漆后车身入库高效协同等。



## （四）智能机器与人员协同的敏捷作业

生产作业是指将投入的各种资源通过加工、装配等操作转化为最终产品的过程，是生产活动的核心内容。生产作业能力水平从根本上决定了工厂的生产能力。在自动化、信息化阶段，生产作业优化强调大规模机器替代，首先局限在标准化、程序化和少量柔性要求的作业过程替代，限制产能进一步提升；其次人类仅单方面操作设备，人机作业内容几乎分离，阻碍了作业效率深度优化；同时传统机器缺乏感知，操作、防护不当则易造成人身伤害。随着智能传感、深度学习等数字技术与传统机器深度融合，机器逐步具备感知、分析、决策能力，可以通过图像识别、数据分析、智能决策和精准执行等自主适应要素变化，识别人类意图，开展沟通交互，进而协同人类开展工作，推动人机工作方式从控制辅助向共生协同变革。人机协同作业显著扩大了机器的应用场景，增强了生产作业的柔性 and 韧性，同时推动人类思维和智能算法有机融合，共同学习，互相增强，协同创新。

人机协同作业目前在汽车、钢铁、纺织、食品等行业的生产作业中的大重量物料搬运，辅助零件装配与包装，辅助工序加工作业等环节得到应用，如中联重科应用模块化人机协同工作站，提升挖掘机下车架部件装配效率 50%。主要包括以下三类典型应用模式。

**一是辅助物料识别、抓取与移动。**基于工业视觉+人工智能算法自主识别物料，自动控制机械臂进行物料的抓取，以及移动放置至预定位置。如阿胶胶块机器人自动扒胶，机械零件加工机器人自动上下料等。

**二是辅助零件识别、定位与装配。**通过机器视觉识别零件，测量和校正位置，控制机械臂基于接触传感等力反馈实现零件精细化装配。如复杂电子装备核心构件的机器人智能化装配，传动箱机器人辅助轴承热装等。

**三是辅助加工作业规划与自执行。**依托视觉算法进行目标外观、位姿等加工状态识别，基于智能算法自动规划和决策加工策略，控制机械臂操纵加工装置完成作业。如钢管毛刺机器人自适应打磨，机器人自动钢卷拆捆带作业。



## (五) 全环节质量数据汇聚与精准追溯

质量追溯是指采集产品全生命周期生产、质量等信息并实现关联管理和定位查询的过程。实现质量精准追溯有助于明确质量责任、精准溯源问题和策划质量改善。传统工厂往往缺乏全流程质量追溯能力，首先未实现原材料采购检验，生产全工序过程检验以及成品出厂检验等全流程质量检验数据的采集，缺乏有效的质量数据源；其次未能实现全流程质量数据的集成打通，各阶段质量数据孤岛严重，无法有效关联；同时全流程质量数据与实物产品间未实现绑定，无法通过产品标识查询质量数据。**聚焦产品全生命周期质量管控、追溯和改善需求，通过数字化手段采集全流程质量数据，依托质量数据平台汇聚、集成和打通各环节质量数据，基于条码、标识和区块链等技术，实现全流程质量数据与实物产品的关联匹配和跨业务、跨企业的质量信息追溯。**质量精准追溯有助于质量问题的快速溯源、精准分析和准确处理，大幅度降低质量损失，同时能够为产品设计、工艺设计、生产作业、维修维护等优化提供数据支持，加速产品迭代优化。

目前质量精准追溯在钢铁石化、食品饮料、生物医药、汽车与零部件、装备制造等行业的原料质量、生产质量以及全生命周期质量等管控上得到应用，如歌尔股份应用质量管理体系对全流程生产、供应链质量问题进行追踪分析，产品良率提升 10%。主要包括以下三类典型应用模式。

**一是从原料到成品全流程质量追溯。**采集原材料检测、生产过程质量记录以及成品质量记录信息，将产品从原料到成品的质量信息关联打通，基于产品标识实现正向和反向质量快速追溯。如奶制品从奶源、生产到销售全流程质量追溯，钢材从铁矿、冶炼到下游使用全流程质量追溯等。

**二是从零部件到整机全系统质量追溯。**将零部件质量数据和零部件实物唯一编码绑定，并逐一绑定至整机实物唯一编码，进而实现从零件逐级定位至整机或从整机逐渐分解至零件的双向质量追溯。如电器产品主要物料质量追溯，机器人产品关键零部件质量追溯等。

**三是从研发到运维全生命周期质量追溯。**全面汇聚设计、工艺、采购、生产、交付和运维全生命周期产品质量数据包，构建产品全生命周期质量履历，支持全生命周期质量改善活动。如轨道交通装备全生命周期质量履历管理，工程机械全生命周期质量履历管理等。

## （六）设备可视化运行监控与故障洞察

运行监测与故障诊断是指通过一定技术手段监控设备运行状态、分析性能指标，对故障进行诊断和报警的过程。良好的运行监测与故障诊断有助于优化设备性能，提升可用性，降低故障损失。传统工厂的设备运行监测与故障诊断主要依靠人工日常巡检和定期停机维护，首先人工巡检难以及时发现潜在故障隐患和细微寿命衰减，长期积累最终导致设备故障停机；其次设备维修过程依赖于人员经验，故障诊断效率低，停机工时浪费大；同时无法实时掌控设备状态，对快速劣化和突发性故障响应效率低，造成安全风险。**面向设备精细管控和高效运维需求，通过数字传感实时采集设备运行数据和工艺参数，依托设备管理系统，融合工业机理和数据模型，实现设备运行状态可视化监控，运行效率和性能综合分析，以及故障诊断和失效预警。**在线运行监测与故障诊断实现了数据驱动的设备调度、运维保障的优化，提高了设备综合效率，降低非故障停机风险；同时基于数据分析开展故障诊断和维修策划，提高故障修复效率，减少停机工时损失。

目前在线运行监测与故障诊断在钢铁冶炼设备、石化炼油装置、数控机床与产线、焊接涂装设备、物流运输设备、工业机器人等装备运维上应用，如贵州航天电气通过设备在线状态监控与故障诊断，设备综合效率提升 20%。主要包括以下三类典型应用模式。

**一是设备可视化监控与性能分析。**通过实时采集设备运行工况和工艺参数等数据，通过大数据分析和数据可视化技术，动态展示设备运行状态和关键绩效指标。如电路版的 SMT 产线运行监控与综合效率分析，钢铁生产连铸连轧产线状态监控等。

**二是设备健康监测与异常报警。**基于工业机理结合数据模型构建设备健康预测模型，实时分析设备运行数据，当存在参数超阈值时进行故障异常的自动报警。如基于机器视觉的传动皮带失效监测，石化装置泵群健康监测与异常预警等。

**三是故障诊断、策略决策和维修联动。**基于聚类回归、深度学习、决策树、知识图谱等算法，构建设备故障分析模型和维修知识库，提取故障特征，分析故障原因，决策修复策略，并联动生成维修工单，如数控机床故障诊断与维修方案快速匹配。





## （七）自适应生产变化的产线柔性配置

产线柔性配置是根据不同订单生产要求，动态配置产线的人、机、料、法等生产要素的过程。生产中产线配置效率对工厂整体生产效率和生产成本有着较大影响。在自动化、信息化时代，工厂以专用设备、固定流程的自动化产线为主，首先较为标准、固化的生产模式对品种和批量的变化极其敏感，缺乏资源动态配置能力；其次需要换产时，产线配置周期长，工作量大，投入成本高；同时也不具备对各类生产扰动的动态响应能力，生产韧性较差。**面向多品种变批量的高效、低成本生产的需求，依托智能化、柔性化装备，应用成组工艺、柔性装夹、5G设备组网、智能控制等技术，搭建柔性生产线，实现精准匹配订单配置人、机、法等要素，快速组织生产和响应需求变化。**产线柔性配置显著缩短订单切换时产线配置准备时间，消除了大量等待浪费，提升了生产效率，同时柔性资源配置使得工厂能够快速响应紧急插单、订单取消、物料延迟等扰动事件，保障生产的连续性与平稳性。

产线柔性配置目前在家具、家电、汽车、消费电子等行业的机械加工、焊接装配、表面涂装、整机装调等生产过程中得到应用，如中国重汽济南动力应用多机型混产柔性装配线，产品交付周期缩短 25%。主要包括以下三类典型应用模式。

**一是快速重构设备布局实现工序柔性。**基于 5G 网络开展设备工控无线组网，需要时能够快速添加、剔除或者移动各工序的加工设备，进而重构工序组合来适应不同制程的生产要求，如电路板柔性 SMT 产线，LED 液晶面板柔性生产线等。

**二是自适应切换加工程序和工装实现作业柔性。**采用数控机床、机器人等通用加工装备，自主识别工件类型，切换相匹配的加工程序、刀具或者装夹等，进而适应作业内容的变化，如航天精密零件柔性加工生产线，乘用车白车身柔性涂装生产线等。

**三是动态调整产线物流路径实现过程柔性。**工件在线上流转过程中，自识别工件类型，依托柔性物流，自动调整和改变产线物流路径，精准控制工件流向的加工设备，进而适应加工流程的变化，如复杂电子装备柔性脉动式装配线、羊绒纱线柔性生产线等。



## （八）实时精准与动态响应的智能排程

车间排程是将车间生产任务分解为工序级执行计划和资源调度方案的过程。车间排程效率和精度在很大程度上决定了车间生产效率和交付周期。传统工厂多为人工排程调度，首先排程计划准确度较低，大量工序衔接等待的浪费，延长了生产周期；其次难以匹配实时或者预测产能开展排程计划，导致排程被动变更频繁，影响生产稳定性；同时难以实时响应任务延迟、紧急插单和设备故障等生产扰动进行重排程和动态调度。**面对缩短车间计划排程周期，提高排程精准度和敏捷性的需求，通过实时感知车间生产任务和资源状态，依托调度排程系统，应用融合了工业机理、数据分析和智能算法的调度模型，预测车间产能，响应动态扰动，进而实现交期、产能和库存等多约束条件下的车间排程优化。**车间智能排产全面提升车间排程方案的准确度、合理性，有效提高资源利用率，释放潜在产能，缩短订单交期，同时能够响应动态扰动开展重调度，提升生产稳定性和韧性。

车间智能排产目前在原材料、电子信息、装备制造和消费品等行业的冶炼车间、加工车间、焊接车间、装配车间、涂装车间等得到了广泛应用，如浙江正泰电器应用高级计划排程系统开展日计划排程，提升工厂生产效率 25%。主要包括以下三类典型应用模式。

**一是优化工序安排为目标的离散生产排程。**应用排程算法结合数据分析，以工序先后为基本约束，在最合适时间将最合适工序安排在最合适的设备（工位）上，进而缩短计划完工周期。如航空发动机装调生产排程，汽车车身焊接生产排程等。

**二是优化生产连续性为目标的流程生产排程。**应用排程算法结合过程机理模型，以过程全局优化为目标，获得较优计划排程，通过与装置控制联动，实时优化生产过程。如炼钢、连铸、连轧一体化排程优化、多品种奶制品生产排程优化等。

**三是应对异常扰动为目标的动态排程调度。**基于对生产状态的实时感知，应用专家系统、决策树、深度强化学习等技术，自主决策最佳策略应对扰动带来的排程异常。如应对装置收率波动的炼油生产动态排程，应对订单变化的家具生产动态排程等。

## (九) 全要素透明可控的精益生产管理

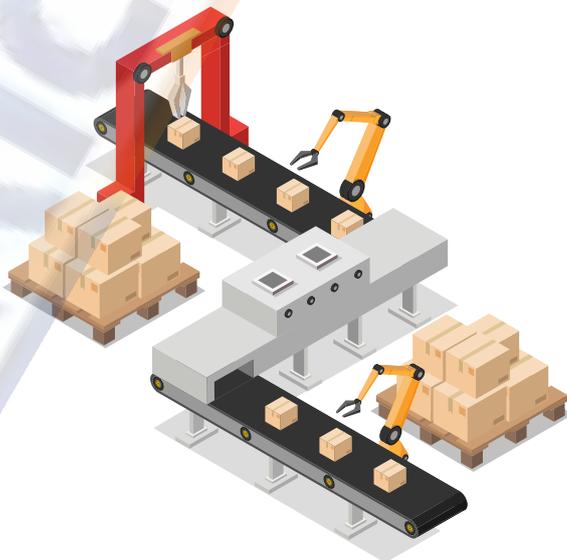
生产管理是车间中配置资源，组织生产，协调任务和管控进度的过程。车间生产管理水平在较大程度上影响着生产效率、生产成本和订单交期。传统工厂的生产管理以人工为主，首先人、机、料等关键生产要素难以实时感知和精准管控，资源负载不均，利用率不高；其次生产管理决策依赖于经验，决策滞后且不准确，管理手段落后，造成大量生产浪费；同时难以对各类要素、流程和活动的绩效进行准确评价，无法支撑生产改善。**针对全要素和全过程精细化管控，消除生产浪费的需求，依托车间管控系统，基于全要素实时感知，将大数据分析、人工智能、虚拟现实等技术与六西格玛、6S和 TPM等先进精益管理方法相结合，实现基于数据驱动的全流程精益生产管理。**精益生产管理实现全要素和全流程可视、可控，优化资源配置和管理决策，提高管控精度和质量；同时基于数据洞察全要素、全流程的绩效水平，进而有的放矢开展生产优化，进一步提高生产效率和资源利用率。

精益生产管理目前在原材料、电子信息、装备制造和消费品行业的现场改善、流程优化、作业改善、质量改善等方面应用。主要包括以下三类典型应用模式，如飞鹤乳品通过制造执行系统实现生产环节透明化管理，车间生产效率提升 30%。

**一是全要素透明化看板管理与精准决策。**通过全要素、全过程的感知采集，依托可视化看板，实时展示计划进度、效率质量、成本安全等综合信息，支撑异常快速处置和高效管理决策。如钢铁生产集中控制指挥中心，物流调度可视化看板等。

**二是数字化关键绩效评价与改善。**结合精益管理理念构建全要素、全过程的关键绩效指标体系，基于生产数据分析开展精准绩效度量、评估与监测，支撑流程、效率、成本等改善。如汽车发动机装配车间人员绩效评估，炼化产线效率质量绩效评估等。

**三是标准化作业改善。**综合运用人机作业分析、人因工程、虚拟现实、机器视觉等技术，制定各工序的标准作业指导，交互式辅助、引导操作员开展标准化作业，并实时监控和纠正非标准作业行为。如彩电装配单元 ESOP作业视频辅助，基于增强现实的交互式汽车装配作业指导等。





## （十）产供销一体化协同生产计划优化

生产计划是企业根据订单，结合产能、库存等状况制定企业生产、采购、外协等生产任务计划的过程。计划合理性决定订单交付周期、资源利用效率和生产成本。在信息化时代，工厂多依赖于ERP（企业资源计划）系统结合人工制定生产计划，首先生产计划制定和产能、库存、采购、销售等状态脱节明显，各环节难以衔接平衡造成大量库存积压；其次生产订单过程状态难以监控，对订单异常情况无法实时响应处理，导致订单交付延期；同时无法有效预测需求变化、供应链波动、产能异常等，进而开展计划策略的动态调整和优化。**聚焦生产计划高效精准策划与订单准时交付需求，基于企业资源计划系统与采购、库存、生产、销售等集成打通，应用约束理论、寻优算法和大数据分析等技术，基于需求预测、产能预测、安全库存和供应链交期等数据分析制定生产计划。**生产计划优化实现更精准和合理的生产计划制定，有助于缩短订单交付周期，减少库存积压，同时实时感知和预测需求、生产、采购、销售等波动，进而动态调整，避免交付风险或者资源浪费。

生产计划优化目前在原材料、电子信息、装备制造和消费品行业的主生产计划、物料需求计划、制造资源计划等方面得到广泛应用，如吴忠仪表应用资源计划系统开展二级计划优化，订单交付率提升10%。主要包括以下三类典型应用模式。

**一是基于订单拉动的生产计划优化。**基于产能状态、库存状态、供应链交期等数据分析和精准洞察，应用约束理论、（非）线性规划、智能算法等，以订单交付期为约束，确定最佳采购入库、生产完工时机，保障交付准时。如定制家居生产计划优化，定制汽车生产计划优化。

**二是基于销售预测的生产计划优化。**通过实时采集市场、客户或者销售数据，基于数据分析结合智能算法预测未来一段时间的销量波动，进而动态调整产品生产计划，降低库存积压成本。如基于销量预测的鲜奶制品生产计划优化、速冻食品生产计划优化等。

**三是基于项目交付的生产计划优化。**打通从项目计划、研发设计、生产计划到生产执行的数据闭环链路，基于项目工作分解，结合产能均衡、资源冲突和物料齐套的预测，制定生产计划，并根据异常协同调整。如航天产品科研生产计划，航空发动机科研生产计划等。

CAICT 中国信通院

CAICT 中国信通院

03

---

垂直行业模式差异，走出特色路径

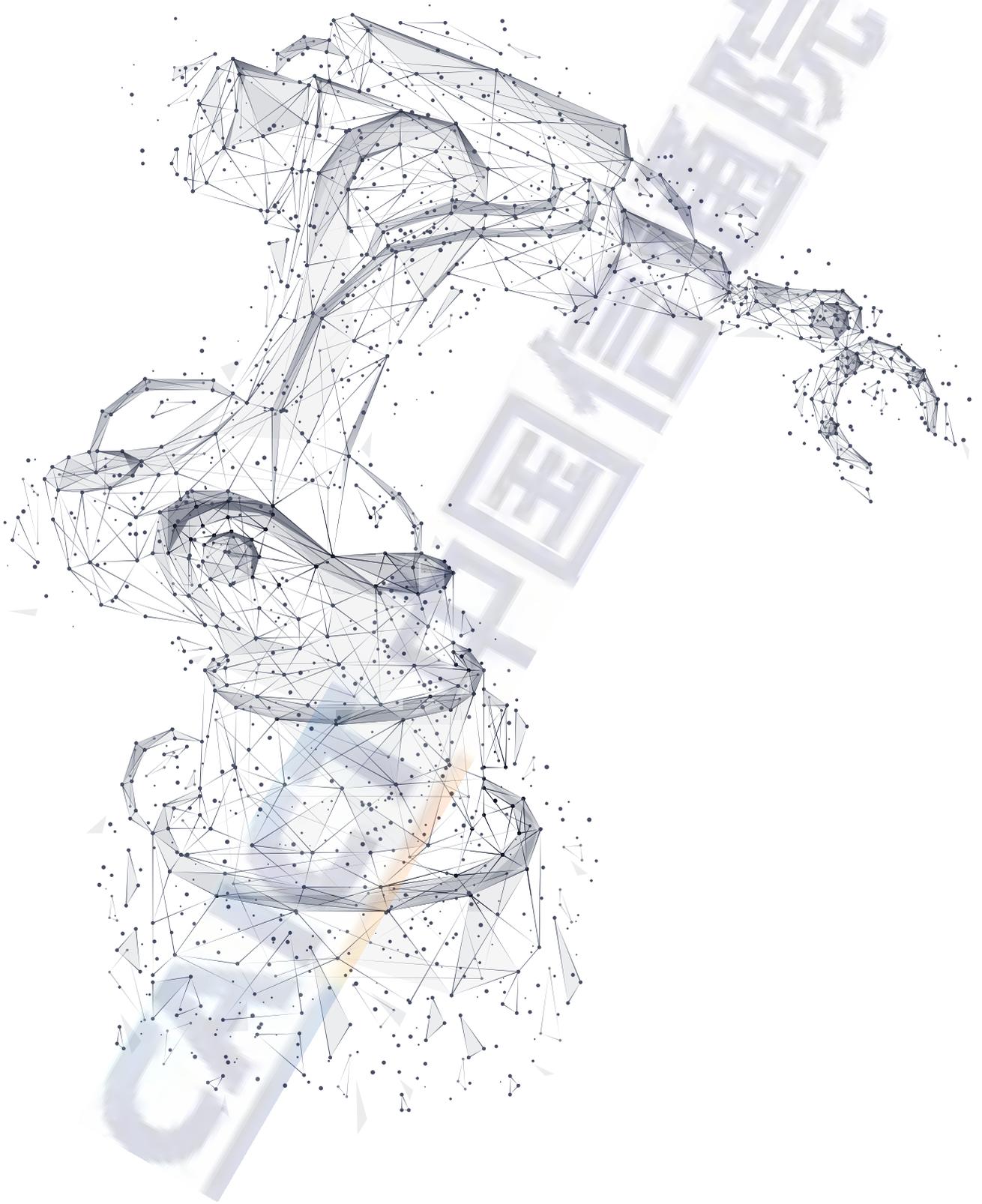
细分行业由于产品形态、工艺流程、生产模式、运营管理等存在差异，且面临的发展问题和生存挑战各异，因此不同行业的智能工厂建设存在个性路径与特色模式。本报告参考“2021年度智能制造试点示范行动”《智能制造示范工厂揭榜任务（2021年）》，根据智能制造示范工厂揭榜任务划分的原材料、装备制造、消费品和电子信息四大行业，分别统计分析上述四大行业智能工厂建设的十大智能场景，具体参见图2。

场景	十大智能场景										其他智能场景						
	智能在线检测	工艺数字化设计	智能仓储	人机协同作业	质量精准追溯	在线运行监测与故障诊断	产线柔性配置	车间智能排产	精准生产管理	生产计划优化							
原材料行业	●		●	●		●						安全风险实时监测与识别	污染源管理与环境监测	能耗数据监测	工艺流程/参数动态调优	能源平衡与调度	先进过程控制
消费品行业	●		●	●	●			●	●	●		销售驱动业务优化	销售计划动态优化	物流实时监测与优化			
电子信息行业	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●							
装备制造行业	●	●		●	●	●	●	●	●			供应链可视化	产品数字化设计与仿真				

图2 四大行业示范工厂十大智能场景

可以看到：一是共性场景，部分生产制造环节的高价值场景，如智能在线检测、人机协同、质量追溯、在线运行监测与故障诊断、车间智能排产是多数行业的共同关注，具备全行业推广应用价值。二是差异场景，不同行业存在相对更为关注的智能场景，如原材料行业对过程控制优化和安能环管控改善需求明显，进而安全风险实时监测与识别、污染源管理与环境监测、能耗数据监测、先进过程控制等智能场景应用案例数量在该行业处于前十位置，又如消费品行业对消费者需求变化更为敏感，且需要适应消费需求升级的趋势，销售驱动业务优化、销售计划动态优化等便成为消费品行业的共同关注。三是共性场景也存在应用差异，同样智能场景在不同行业的具体应用需求和模式不同，如产线柔性配置在电子信息行业更多体现为根据订单变化的设备布局快速调整，而装备制造行业更多是基于通用设备、柔性工装和智能机器人来最大程度适应产品和工艺变化，因此同一场景不同行业推广时需要注意差异化解决方案设计。

<sup>3</sup> 《关于开展2021年度智能制造试点示范行动的通知》



## （一）原材料

原材料行业包括如钢铁、石化、有色、建材等行业门类，是典型的流程制造，运行过程通常伴随着物理化学性质的连续变化。基于原材料行业智能制造示范工厂智能场景建设分析，可看到：**原材料行业智能工厂建设聚焦于全流程制造与安能环管理的智能优化，并积极探索全价值链协同优化。**

首先原材料行业制造过程机理复杂，流程间衔接要求高，难以完全依赖物理或者数学模型解析，“黑箱”特征明显，需要依托数字传感、先进控制和智能装备，取代人工控制、执行生产过程。其次原材料行业生产环境具备高温高压、有毒有害、易燃易爆等特点，危险源点多面广，基于数字手段动态感知和精准识别安全风险，避免人工巡检的滞后，消除风险盲区，则尤其重要。同时原材料行业由产品性质和工艺特点决定了高能耗、高排放和高污染的特点，近年来在严峻的节能环保压力下，迫切需要应用数字化技术强化能耗和排放监控能力，进而有效实现节能减排的社会责任。

原材料行业智能工厂形成了四类特色模式。

**一是全流程智能控制与实时优化。**基于“数据分析+工业机理”构建深度解析“黑箱”过程的模型系统，感知加工状态，决策最优操作参数，并实时响应控制。江西铜业通过对设备运行参数、控制参数和生产指标分析，构建数据模型，并叠加在常规控制逻辑上，实现磨浮生产效率和稳定性的智能优化控制。而国投生物燃料则通过对过程和最终产品的计量理化数据分析，结合细胞代谢动力学机理，构建解析过程参数和产品质量关系的模型，实时优化乙醇发酵过程参数，实现产品收率的提升。



**二是全过程集成协同与全局优化。**通过数据协同推动生产计划、排程调度和全流程控制的集成优化，实现计划、调度约束下装置和过程的全局最优化生产。中石油镇海炼化通过 ERP、RTO（实时优化）、APC（先进过程控制）和 DCS（分布式控制）系统集成，生产计划直接驱动全流程各装置控制优化，实现全局经济效益的最大化。而宝武武钢则通过集中控制和 APS（高级计划排产）系统打通炼钢、连铸、轧钢三大工序，进行统一的排程调度和工序界面一体化优化，实现三大工序全局高效协同生产。

**三是质能环一体化优化。**基于生产过程数据采集分析，结合工业机理，实时优化工艺操作参数，并实现对装置能耗、排放和质量的一体化优化。酒钢集团应用炼铁能耗专业性机理模型和大数据人工智能模型对单个高炉炼铁过程参数动态调优，提高冶炼效率和质量的同时，减少高炉碳排放。而海螺水泥则是依托全流程智能生产控制平台，基于全流程数据分析建模实现多装置的工艺参数调优，降低生产能耗同时提升产出熟料质量。

**四是全价值链协同优化。**打通上游原料供应和下游用户销售，实时感知原料价格、供应量、市场需求以及销售价格等波动，进而动态优化生产运营。中石化天津分公司基于大数据分析原油价格和内外贸价格的走势来决策主要产品的产量和原料投入。而中铝萨帕特种铝材（重庆）则是打通上游原料供应和下游订单交付物流，利用启发式算法进行运输路径优化，确保原材料按时到货，订单能准时送达。



## （二）装备制造

装备制造包括通用机械、专用机械、汽车、铁路、船舶、航空航天等行业门类。基于装备制造行业智能制造示范工厂场景建设分析，可以看出：**装备制造行业智能工厂建设以满足复杂系统产品研制的数字化设计与柔性化生产为切入，加速供应链协同，并探索服务化衍生。**

首先装备产品的愈发复杂的本体系统结构和机电软一体化集成的发展趋势对企业研发能力和制造能力均提出了较高的要求，亟需采用数字化技术赋能解决复杂系统研制效率和质量问题；其次装备产品集成性和组装性特点带来了复杂的配套协作关系，应用数据打通供应链，实现协同是化解复杂配套协作的必然路径；同时装备智能化水平提升，应用数据开展远程诊断和运维是确保装备良好运行，为客户持续创造价值的有效手段。

装备制造行业智能工厂形成了四类特色模式。

**一是基于模型的协同设计。**应用基于模型的定义、数字孪生等技术，依托协同设计平台，开展复杂系统的多专业协同数字化设计，分析优化和虚拟验证。中煤科工应用三维设计手段构建产品的多学科虚拟样机，并利用数字样机开展仿真分析、虚拟验证和设计优化。江铃底盘则探索产品模块化设计，构建车桥总成模块化设计方案，根据客户配置参数匹配车桥基础平台开展快速三维设计与仿真。

**二是动态资源配置和柔性加工装配。**通过数据的高效流动实现复杂系统制造过程的动态资源组织、柔性生产作业和精准运营管控。上海航天依托柔性喷涂机器人，应用数据分析实现工件自识别、参数自调用和轮廓自适应的小批量、多品种涂装生产。而广州汽车则在车身自动焊装产线的基础上应用视觉引导、车型派生识别、柔性定位等技术，满足大批量定制需求。

**三是供应体系网络化协同。**基于数据贯通多级供应商体系，打造供应链协作网络，高效配置全链条资源，提升装备研发、生产和运维等业务效率。航发商发依托云平台构建供应链协同平台，建立供应商制造过程协同流程和数据共享模型，实现供应链研发和制造过程协同管理。一汽集团则通过供应商管理系统与供应商生产执行、仓储系统集成，供应商根据主机厂生产时序做订货配送，实现拉动式供应链。



**四是智能产品与衍生服务。**依托数字化、智能化装备打造全生命周期数据入口，依托数据分析开展故障诊断、远程运维等衍生服务。中车四方机车关注产品实时监控和动态运维，依托轨道交通一体化数据传输体系对轨交装备开展远程健康监控与预测性维护。博创智能则依托注塑机云平台，为客户提供注塑机健康监控、预测性维护等服务，同时依托数据分析创新注塑机共享租赁等服务。

### （三）消费品

消费品行业包括食品饮料、生物医药、家电服装、家居日化等行业门类，涵盖离散和流程制造，以客户为中心组织生产是行业主要特点。基于消费品行业智能制造示范工厂场景建设分析，可以看出：**消费品行业智能工厂建设以个性需求驱动的柔性定制生产为切入，加速产供销一体化协同，进而推动业务精准创新。**

首先消费品行业长期处于低价位、同质化、走销量的竞争环境，追求高效率、低成本实现薄利多销倒逼企业应用数字化技术优化生产，改善管理；其次传统以产定销模式难以适应市场变动进而造成库存积压，抬高成本，有必要打通供、产、销，基于销售拉动生产，向以销定产模式变革；同时不断挖掘并满足消费者需求是可持续发展的关键，而推动消费侧和生产侧打通，基于客户数据洞察需求、创新产品和优化生产则提供了可行路径。

消费品行业智能工厂形成了四类特色模式。

**一是销售拉动的生产动态优化。**基于市场、销售和客户的数据分析，预测市场走势、销售波动和需求变化，进而实时调整计划、生产策略，快速响应市场变化。浙江迎丰科技关注基于市场预测优化生产，利用销售和客户数据分析预测市场销量情况，进而动态调整生产计划和资源调度。而波司登服装则聚焦拉动式自动补货生产，通过门店款式销量数据分析预测补货量自动触发补货通知拉动生产。

**二是基于数据协同的敏捷弹性供应链。**通过打通供应商计划、生产和物料等环节，基于数据监控供应链状态，传递需求变化和生产异常，并动态调度供应链资源快速响应。维尚家具更关注定制产品的供应链准时配套，应用人工智能基于销量数据分析动态决策最优供应链安全库存，进而保障定制产品采购准时供货同时减少供应链库存成本。而天津伊利乳业则聚焦供应链全流程的可视化，通过不同工厂间生产、仓储系统对接，完整可视化监控生产、仓储、装箱、运输等全环节。

**三是数据驱动的精准确营销销售。**通过线上线下多渠道采集消费者数据，通过数据分析构建消费者精准画像，进而洞察需求，针对性开展营销销售活动。光明乳业通过消费者数据采集分析，构建360度消费者家庭画像，进而策划精准营销活动。而东阿阿胶则关注应用多渠道销售数据分析，构建客户画像及供需预测模型，动态预测和调整不同渠道销售计划。

**四是消费者驱动的业务创新与运营优化。**通过生产系统和消费互联网端到端打通，消费者数据能够直接反馈到生产、设计等更前端的环节，驱动产品创新、生产模式和商业模式变革。维尚家具为消费者提供家居个性化定制设计，基于客户需求挖掘，应用模块化设计快速产生和交互家居设计。伊利聚焦从线上、线下多渠道采集产品评论和建议信息，通过数据分析识别产品改进点进而驱动产品优化。

## （四）电子信息

电子信息包括电子元器件、集成电路、计算机、信息通信设备、消费电子等行业门类，以离散制造为主，且细分行业产品和生产特点差异较大。基于电子信息行业（主要是信息通信终端设备和消费电子器件）智能制造示范工厂场景建设分析可以看出：**电子信息行业智能工厂建设关注适应订单变化的柔性可重构生产与制程工艺的数字化设计，加速探索供应链弹性管控。**

首先电子信息行业，电子产品存在订单种类多，更新换代快等特点，需要提高生产系统柔性，具备一定的可重构能力来适应动态变化的订单生产需求，其次，电子产品的制程精密复杂，需要借助数字手段设计、验证和优化制程工艺设计，同时部分高端电子产品的供应链存在断供等异常，通过数字手段监控和调度供应链资源是提高供应链韧性，保障订单交付的有效手段。电子信息行业智能工厂形成了三类特色模式。



**一是快速可重构生产模式。**应用包括5G、智能控制、柔性物流等技术，构建可重构柔性产线，能够根据订单变化快速调整设备布局、工艺参数和物流走向，实现多品种兼容。TCL关注快速换产，应用5G实现设备无线组网，便捷调整布局重构产线，并自动同步设备参数。而电科十四所则应用柔性数字定位及柔性装夹系统，实现多型号雷达不同结构天线阵面的精准拼接和智能装配。

**二是数字化工艺设计与可制造性分析。**全面应用数字化模型表达电子产品工艺设计，进而开展布线、封装、标贴、装配等可制造性分析，以及产线和物流的节拍、瓶颈仿真分析等。欣旺达电子对锂电池封装生产线进行三维建模以及运动仿真分析验证封装工艺设计的正确性和生产节拍的合理性。而烽火通信关注工艺知识应用，搭建工艺知识库，并基于规则对知识进行调用，实现知识驱动的快速工艺设计。

**三是供应链精益化弹性管控。**依托供应链系统集成，打通从订单到交付全流程供应链端到端数据流，进而优化资源配置效率，快速响应订单变化，降低供应链成本。歌尔声学强调供应链计划协同，依托供应链计划协同系统，发布近期确定和远期预测供货计划，并动态监控。亨通光电则关注供应链物料追踪，应用工业互联网标识技术追踪物料生产、库存、物流、交付全流程信息，优化资源配置。

CAICT 中国信通院

CAICT 中国信通院

# 04

---

绩效指标量化效益，穿透价值迷雾

## （一）数字投资持续增长，效益模糊

2021年12月，国务院发布了《“十四五”数字经济发展规划》，提出到2025年，数字经济核心产业增加值占国内生产总值比重将达10%。据国际数据公司(IDC)测算，尽管疫情蔓延至全球，但直接来源于数字化转型的投资从2020年到2023年仍将达到15.5%的年复合增长率<sup>4</sup>。然而，**企业数字化投入尚未完全转化为显著的、可量度的商业价值，企业难以预计投资回报率，常常对数字投入存疑**。施耐德电气认为只有部分达到预期或者没有达到预期的企业的比例高达54%<sup>5</sup>。埃森哲指出数字化转型的难点之一是价值难现，投入无法持续<sup>6</sup>。一方面是因为数字化转型的系统性，使得数字化投资见效慢周期长，另一方面是因为缺少以价值成效为导向的定量评估方法，导致难以量化评估数字化投入带来的价值效益。所以，**业界亟需能够明确转型价值的绩效评估体系，以便依据可量化采集计算的数值类指标，定量描述、评价企业建设成效和价值效益。**



<sup>4</sup> 《IDC FutureScape:2021 年全球数字化转型预测》IDC

<sup>5</sup> 《转型中的中国企业——数字化赋能绿色智能制造高管洞察》施耐德电气

<sup>6</sup> 《2021 中国企业数字转型指数》埃森哲

## （二）示范工厂改善显著，照亮价值

为推动传统制造向智能制造转型升级，我国推动建设了一批智能制造示范工厂，聚焦原材料、装备制造、消费品、电子信息等重点行业，围绕研发、生产、管理、服务领域开展转型实践。基于 2021 年度智能制造示范工厂和优秀场景的不完全统计发现，**智能制造示范工厂在智能化改造前后，成效价值显著改善，足以消除企业对数字化转型投资的疑虑，树立企业推进智能制造的信心**，同时也为绩效指标的价值维度设计提供了指导思路。智能制造示范工厂改造前后的成效价值主要体现在以下三个方面：

**一是创新效率提升显著。** 产品研发周期平均缩短 28.0%，最高缩短达 70%，近 80% 的企业缩短超过 20%。服务响应时间平均缩短 27.9%，最高缩短 80%，超过六成的企业缩短超过 20%。

**二是运营水平改善明显。** 运营成本平均下降 18.6%，最高下降达 67%，近一半的企业下降超过 20%。物流成本占比企业运营成本平均降低 15.56%，最高降低 76%。库存周转率平均提升达 25.0%，最高提升超过 2 倍，近六成的企业库存周转率提升超过 20%。产品不良率平均下降 24.4%，最高下降达 96%，近六成的企业下降超过 20%。资源综合利用率平均提升达 21.9%，最高提升达 100%，超过三分之一的企业提升超过 20%，设备综合利用率平均提升达 25.0%。订单准时交付率平均提升达 21.8%，最高提升 100%，近二分之一的企业提升超过 20%。订单完成周期平均缩短 27.9%，最高缩短 70%，超过七成的企业缩短超过 20%。

**三是节能减排成效显著。** 二氧化碳（CO<sub>2</sub>）排放平均降低 13.3%，最高降低 53%，超过六成的企业降低超过 10%。



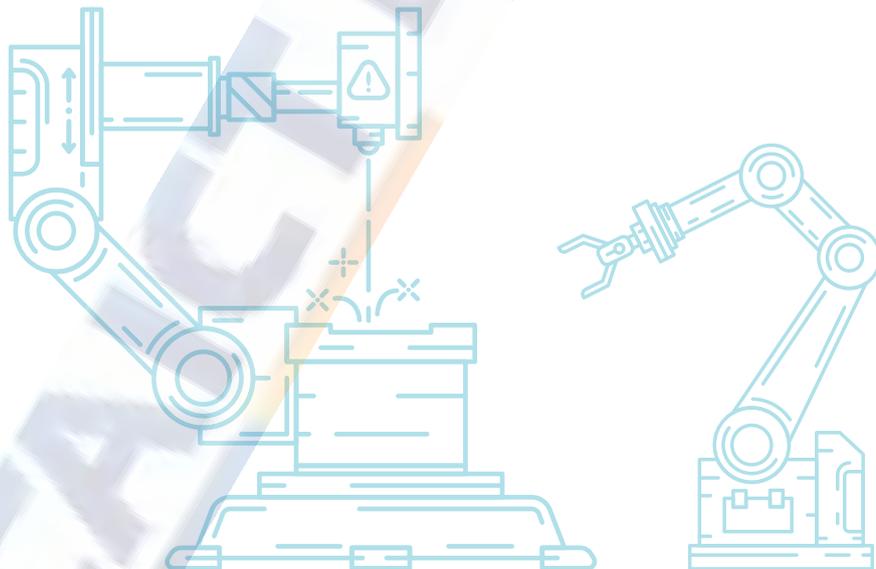
### (三) 绩效评估显性成效，助力转型

基于上述示范工厂改善分析，综合参考国家标准<sup>7</sup>、国际标准化组织 ISO<sup>8</sup>、Gartner<sup>9</sup>、麦肯锡<sup>10</sup>等国内外机构和企业对关键绩效指标体系的研究，在充分征求专家的意见的基础上，报告从价值增长、运营优化和可持续发展三个维度选取 10 个一级指标和 28 个二级指标建立绩效指标评估体系，全面客观评价数字化转型、智能化升级的价值效益，量化分析企业在业务创新、运营优化、节能减排等方面水平。

**维度一：价值增长。**主要基于新产品上市量和销售增长率两个一级指标来衡量企业增收创新成效。新产品上市量主要衡量企业的产品创新速度，基于产品研制效率和上市成功率两个方面分解为产品研制周期和商品转化率两个二级指标。销售增长率主要衡量市场销售规模，分解为客户复购率和客户获得率两个二级指标。

**维度二：运营优化。**主要基于质量损失率、订单达成率、单位产品成本、劳动生产率、损失工时事故率、服务满意率六个一级指标来衡量企业运营效益，分解为来料合格率、制程合格率等 18 个二级指标。

**维度三：可持续发展。**主要基于单位产品综合能耗和单位产品碳排放量两个一级指标衡量企业的可持续性发展，分解为生产系统能耗强度、公辅系统能耗强度等 6 个二级指标。



<sup>7</sup> GB/T 34044.2-2017，自动化系统与集成 - 制造运行管理的关键性性能指标 - 第 2 部分：定义和描述

<sup>8</sup> ISO 22400-2. (2014), Automation Systems and Integration—Key Performance Indicators (KPIs) for Manufacturing Operations Management—Part 2: Definitions and Descriptions. (Geneva: International Standard Organization (ISO))

<sup>9</sup> 《The Gartner Digital Business Value Model: A Framework for Measuring Business Performance》Gartner

<sup>10</sup> 《全球“灯塔工厂”网络：来自第四次工业革命前沿的最新洞见》世界经济论坛，麦肯锡

	一级指标	二级指标
价值增长	新产品上市量	产品研制周期
		商品转化率
	销售增长率	客户复购率
		客户获得率
运营优化	质量损失率	来料合格率
		制程合格率
		市场质量事故率
	订单达成率	供应商交付率
		物料齐套率
		生产完工率
		订单配送率
	单位产品成本	采购成本占比
		人工成本占比
		库存周转率
	劳动生产率	配送成本占比
		人员综合效率
		设备综合效率
	损失工时事故率	综合商品率
危险预警率		
服务满意率	应急响应周期	
	客户响应效率	
可持续发展	单位产品综合能耗	故障修复周期
		生产系统能耗强度
		公辅系统能耗强度
	单位产品碳排放量	单位工时能耗强度
		生产过程碳排放强度
		外购能源碳排放强度
		产业链供应链碳排放强度

表 1 智能工厂关键绩效评价指标

该绩效指标体系将从三个方面推动智能制造发展。

**一是企业转型价值目标能够层层分解至能力建设，引导转型落地实施。**可为企业转型价值目标设定可量化考核的关键绩效指标，将关键绩效指标分解为可改善的关键过程指标，并通过打造新型数字化能力持续改进关键过程绩效，推动关键绩效指标改善，实现价值目标。

**二是动态评估绩效指标改善情况，开展多维度比较分析，实现评估、诊断、策划、提升的闭环优化。**转型过程中能够实时评价绩效指标改善情况，与目标值、标杆值、基准值等多维度对比分析，明确进展、识别差距，进而指导策划，持续开展优化提升，逐步逼近转型目标。

**三是数字化投资带来的价值效益能够显性化，增强企业高层数字化转型投入的信心。**以价值成效为导向建立的定量化评估指标体系可以全面、系统、直观地展现企业数字化转型效益，为数字化投入提供决策支撑、收益评价、方向把控。



## (四) 领先标杆关注绩效，策划举措

通过案例分析可以发现，那些改善显著、成效突出的行业标杆企业均为数字化、智能化发展规划了清晰的战略目标，设置了具体的绩效指标，在价值驱动下开展转型升级的关键举措，进而围绕价值增长、运营优化和可持续发展方面获得了明显的投资收益。本报告详细调研了来自原材料、装备制造、消费品和电子信息行业的九家行业领先的智能工厂，分析了他们主要转型变革和带来的绩效改善。

### 1. 中车四方：高速列车智能工厂

中车四方以研制订单准时交付，工厂生产效率提升，高铁产品质量优化和运维服务质量提升等为价值目标，开展了五大转型变革：

**一是数字化协同研发提升复杂装备研发质量。**依托 PLM（产品全生命周期管理）系统，打造基于模型的数字化研发、工艺、检验和试验集成开发环境。

**二是柔性制造满足小批量订单生产需求。**基于数控机床、检测与物流装备，构建人机高效协同的柔性制造系统，应对多型号混线制造。

**三是数据驱动的生产管理优化资源配置。**构建精益生产指标，依托生产数据采集分析，全面监测人、机、料等要素绩效，进而优化资源配置。

**四是能耗数据分析优化能源成本。**构建能源管理系统，开展全环节、全要素能耗数据采集、计量和可视化监测，依托能耗数据分析优化能源调度和使用方案。

**五是基于数字孪生的智能运维保障产品可靠运行。**集成研发、生产、运维等全生命周期数据，构建产品数字孪生模型，实现实时运行状态监测、关键零部件故障预警等智能运维。

中车四方高速列车智能工厂的五大绩效改善：



图3 中车四方高速列车智能工厂绩效改善



## 2. 镇海炼化：炼化生产智能工厂

中国石化镇海炼化围绕提高资源效率，优化能耗排放，强化生产安全等价值目标，开展了五大转型变革：

**一是基于数据模型与工业机理的全生产流程优化。**融合装置反应模型与数据模型，依托智能排程、实时优化和先进控制等优化生产流程。

**二是数据驱动的精益运营管控提升稳定运行能力。**基于生产运营数据分析开展设备、绩效、质量等业务领域精准管控。

**三是全流程能源精准管控优化能源效率。**建立能源供、产、转、输、耗等全流程模型，精准分析能耗，优化能源调度与关键设备能效。

**四是污染源与排放可视化管控推动绿色低碳。**通过对关键装置和各类排放渠道进行数据采集和分析，实现排放的精准量化、超限报警和优化。

**五是安全监控与联动响应提升本质安全。**应用机器视觉、无人机巡检等动态监测预警安全隐患，数据驱动应急资源协同与联动响应。

镇海炼化一体化智能工厂的五大绩效改善：



图4 镇海炼化一体化炼化智能工厂绩效改善

### 3. 金风科技：风电装备智能工厂

金风科技以提高定制风电装备订单交付效率，降低定制成本，优化全链条碳排放等为价值目标，开展了五大转型变革：

**一是模块化风机设计满足定制生产需求。**构建整机、子总成、单元模块的多级产品标准模块库，能够通过模块选择和组合配置快速生成产品设计。

**二是柔性化风机生产快速响应订单变化。**依托智能装配与物流装备，应用先进排程和数字化管控手段，构建脉动式可重构产线，实现柔性风机装配制造。

**三是数据与 AI 驱动的质检确保产品零缺陷出厂。**利用 AI 图像识别技术进行机组隐蔽位置的非接触测量检验，自动识别和盘点质量缺陷。

**四是数据驱动的运营提高资源配置效率。**基于多系统数据集成融合，通过数据分析与可视化让各级管理者获得实时数字视图，进而驱动精准决策。

**五是能耗模式变革初步实现碳中和。**依托可再生清洁能源供给系统，应用能碳管理平台全面提高用能效率，基于“绿电交易+碳交易”模式降低碳排放。

金风科技风机智能工厂的五大绩效改善：



图5 金风科技风机智能工厂绩效改善

#### 4. 维尚家具：定制家居智能工厂

维尚家具关注提高定制订单准时交付率，降低产品成本，提高资源效率等改善，开展了五大转型变革：

**一是协同设计云平台支撑快速定制设计。**构建协同设计平台，基于家居产品与解决方案资源库支撑门店设计师快速生成定制化方案；

**二是柔性制造满足定制家居生产需求。**依托柔性切割、喷胶、封边、钻孔等柔性加工和物流装备，应用标识识别技术，实现个性化定制生产。

**三是基于数据的透明化管控动态优化资源配置。**依托生产大数据平台，汇聚和分析生产数据，可视化监控和优化配置各类生产资源。

**四是人工智能驱动的智慧供应链确保供货稳定。**基于市场和销售数据分析，应用人工智能预测产品销售量变动，进而决策安全库存优化采购。

**五是客户驱动的业务优化。**基于客户数据采集和分析，挖掘个性化需求优化产品设计，构建需求预测模型，实现精准化营销销售。

维尚家具家居智能工厂的五大绩效改善：



图6 维尚家具家居智能工厂绩效改善

## 5. 华星光电：显示面板智能工厂

华星光电聚焦提升新品上市量、保障订单准时高质量交付和销售持续增长等绩效改善，开展了五大转型变革：

**一是数字化电子设计与制程规划协同改善研发效率。**依托智能研发平台，应用结构、电子电气、光学、制程等工具开展数字化设计、仿真。

**二是关键工序智能化解决品质变异问题。**依托基础自动化系统，融合机理模型与数据分析，实现质量数据分析驱动的关键工艺参数动态调优。

**三是全流程可视化管控提升异常响应效率。**依托全流程数据分析，实现计划调整、物料切换、参数切换、指标监控和异常处理等自动化。

**四是供应链网络化协同保障供应稳定、弹性。**依托智能供应链平台实现上下游企业数据互联互通，共享订单、计划、生产、库存等信息，进而优化配置供应链资源。

**五是打通客户与生产系统驱动生产运营优化。**客户与生产系统打通，实现需求对接、精准研发、实时排程、产销协同、状态反馈、快速交付与敏捷服务。

华星光电新型显示面板智能工厂的五大绩效改善：



图7 华星光电新型显示面板智能工厂绩效改善

## 6. 老板电器：厨房电器智能工厂

老板电器聚焦销售增长，客户满意度提升，质量、成本和交期的持续优化，开展了五大转型变革：

**一是客户需求驱动的电器协同研发加速精准创新。**基于多渠道需求数据分析驱动产品规划，通过协同设计平台打通用户开展产品共创。

**二是订单拉动的资源配置和制造实现快速交付。**依托工业互联网平台将用户订单与计划、排产、生产、物流等相关环节进行精准资源匹配和拉动式生产制造。

**三是供应链集成协同缩短交付周期。**基于产业链核心数据中台与供应商建立物料共享模式，实现生产端到供应商端的数据共享，优化供应资源配置能力。

**四是数据驱动精准营销深度挖掘市场机会。**通过对用户数据分析构建画像，实现精准获客，通过线上线下多渠道提供咨询、购买、体验个性化服务。

**五是业务数据汇聚分析优化经营决策。**依托工业互联网平台汇聚全流程业务数据开展分析和可视化，为管理者提供精准快速的运营数据呈现。

老板电器家用厨房电器智能工厂的五大绩效改善：



图8 老板电器家用厨房电器智能工厂绩效改善

## 7. 鞍山钢铁：钢铁生产智能工厂

鞍山钢铁围绕订单交付效率、质量合格率、服务满意度提升，以及能源消耗降低等价值目标，开展了五大转型变革：

**一是全流程智能化与协同优化提升效率质量。**基于装备智能化、控制集中化等改进，应用“机理+数据”构建智能工艺模型深度优化炼钢、轧制等过程。

**二是全流程数据分析实现质量闭环优化。**基于数据平台采集生产数据，应用质量模型实现在线质量分析，质量诊断追溯并驱动工艺闭环优化。

**三是能源集中控制优化综合能耗和设备能效。**依托能源集控平台采集、分析和调度能耗，并构建专家智能知识库在线诊断和优化设备能效。

**四是一体化运营与网络协同优化资源配置。**依托工业互联网平台打通集团采购、营销、制造，以及多基地间的订单、制造和物流，实现大范围资源配置与协同优化。

**五是供应链协同与服务生态创造价值增长。**利用智慧供应链平台打通上下游供应链，打造加工、仓储、配送、电商一体化的服务生态圈。

鞍山钢铁冶金智能工厂的五大绩效改善：



图9 鞍山钢铁生产智能工厂绩效改善

## 8. 三一集团：工程机械智能工厂

三一集团以加速新品上市，提高生产效率，保障订单交付，降低质量损失和能耗成本为改善目标，在 18 号工厂开展了五大转型变革：

**一是数字化研发提升工程装备敏捷开发能力。**依托智能研发平台构建装备数字孪生模型，进而开展装备设计仿真优化及系统虚拟测试。

**二是柔性配置与智能加工适应生产特点。**基于适应重型装备制造的智能装备，结合 AI 视觉、智能控制等技术，构建智能可重构工作岛，实现柔性化生产。

**三是供应链集成打通优化采购效率成本。**打造全球协同供应云平台实现供应链体系在线协同订单、收货、质量、计划等，进而推动基于订单式生产的按需采购优化。

**四是全面能耗监控优化推动节能减排。**采集厂区的电、水、油、气能耗，通过大数据分析实现能源监控和调度优化。

**五是产品远程运维优化服务体验。**通过装备智能化升级，监测产品运行状态，依托健康模型开展故障预测、健康评估，进而开展远程运维等智能服务。

三一工程装备智能工厂的五大绩效改善：



图 10 三一工程装备智能工厂绩效改善

## 9. 蓝思科技：显示器件智能工厂

蓝思科技聚焦生产效率、质量水平和订单交付效率的提升，以及扩大市场销售等改善目标，开展了五大转型变革：

**一是多专业协同研发提升创新效率。**构建协同研发云平台，推动机、电、光、制程等多专业在线协同设计，以及基于数字样机的协同仿真验证。

**二是关键流程智能化闭环优化制造质量。**基于工艺数据采集，应用人工智能算法结合补偿机理模型实时调优加工参数，进而提升精密加工质量。

**三是数字孪生制造驱动资源配置与决策优化。**应用数字模型结合智能算法构建生产数字孪生模型精确刻画和可视化设备状态、生产过程等实现资源精准配置与异常快速响应。

**四是全流程质量管控持续提升交付质量。**依托质量管理体系，应用AOI（自动光学检测）、激光等智能检测装配强化过程质检，同时采集原料、过程、使用的质量信息，构建品质知识库驱动全流程质量追溯与优化。

**五是供应链透明管控优化采购成本交期。**打通供应链业务系统，推动采购、制造、物流等过程协同，同时应用供应商数据分析优化采购策略，进而提升供应效率，降低成本。

蓝思科技显示元器件智能工厂的五大绩效改善：



图 11 蓝思科技显示元器件智能工厂绩效改善



CAICT 中国信通院

CAICT 中国信通院

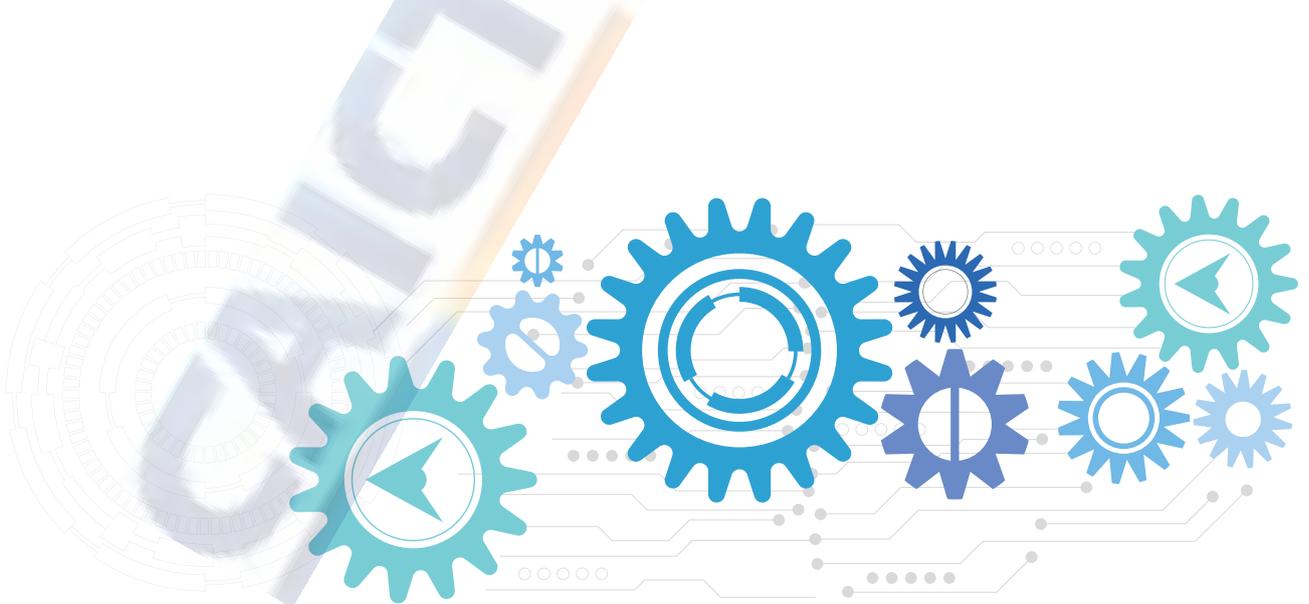
05

展望

在政策引导和行业探索的双重作用下，智能制造不断推进，已从最初的探索尝试、单点优化阶段发展到系统变革、全面转型阶段，推动生产模式、运营模式、资源配置模式的全方位变革，衍生出全新的数字化业务和商业模式。智能工厂已成为制造业数字化转型的策源地和主战场，成为制造业构建新核心竞争力，引领经济高质量发展的必经路径和重要引擎。十四五期间，技术融合创新、供给生态构建、场景应用落地和新型组织形态变革将进一步加速工厂智能化进程，正推动数字化、网络化工厂全面迈向智能工厂。

**一是新一代信息技术与行业加速融合，智能工厂支撑技术体系将逐步形成。**纵观历次工业革命，技术创新一直是第一驱动力，而人工智能、工业互联网平台、5G等新一代信息技术正是本轮工业革命的关键赋能。5G等新型网络技术将成为海量工业数据采集和传输的关键保障；工业互联网平台将成为数据集成管理与数据应用创新的核心载体与关键中枢；而工业人工智能则是制造系统分析、优化、决策等智能化实现的核心引擎。

**二是供给体系相关方加速渗透整合，构建供给生态共同打造适用性系统解决方案。**智能工厂建设是复杂的系统工程，涉及咨询规划、诊断评估、硬件改造、软件实施、系统集成、数据治理等方方面面的技术、产品、服务的应用。传统烟囱式建设模式难以应对系统转型建设需求。未来依托头部供应商、平台型企业等集成整合各领域异构技术产品，打通咨询、设计、实施、治理和运维全实施流程，构建面向特定行业的系统性解决方案。





### **三是通过智能场景解耦和重构工厂转型，进而模块化、组合式推进将成为新应用模式。**

场景是从应用视角看待数字化转型，相较于技术视角或功能视角，更容易被应用侧理解。以场景为单位解耦工厂全价值链、全产业链和全要素，又以场景为单位封装应用需求、支撑技术和解决方案。进而实现以场景为最小可选单元，结合需求模块化选择、组合式拼装构建智能工厂建设蓝图，并以价值效益为导向分阶段落地实施，进而分散建设投资，降低实施风险。

### **四是工厂组织形态加速变革，以适应新的生产方式、业务形态、资源配置和商业模式。**

网络化协同制造、用户直连制造、共享制造等新模式新业态的出现，不断模糊供应商、企业、客户、行业等关系，推动传统组织壁垒的消失，加速组织形态的变革。一方面向着能够获得更大范围内资源配置优化的去边界化组织转变，进而推动基于开放化组织的社会化制造模式的实现；另一方面为促进以数据驱动业务改良与创新进行的敏捷化组织转变，更好适应不断变化的市场需求和业务创新发展的需要。



---

中国信息通信研究院

地 址：北京市海淀区花园北路52号

邮 编：100191

电 话：010-62304012

传 真：010-62304980

网 址：[www.caict.ac.cn](http://www.caict.ac.cn)

联系人：汪先生

手 机：13996177996

邮 箱：[wangjunlong@caict.ac.cn](mailto:wangjunlong@caict.ac.cn)

