

# 先进计算产业智能制造典型场景与前景展望

张欣<sup>1</sup>, 高敏亮<sup>2</sup>, 张迎华<sup>2</sup>, 焦国涛<sup>1</sup>, 廖胜蓝<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 中国电子技术标准化研究院, 北京, 中国

<sup>2</sup> 曙光信息产业股份有限公司, 天津, 中国

\* 通讯作者

**【摘要】**先进计算横跨 CPU、GPU、EDA 工具及系统架构的技术集群, 直接关系到国家经济建设的底层竞争力, 是“数字经济时代的核心生产力”, 对解决国家经济建设、社会发展、科技进步、国家安全等一系列重大挑战性问题具有重要意义。但其制造端的智能化程度却相对滞后, 本文通过实地调研涵盖芯片封测、PCBA 代工及服务器组装的头部企业, 结合文献分析和专家访谈等方法, 聚焦先进计算产业中芯片制造、板卡制造、整机制造三大环节的智能制造典型场景, 逐层拆解芯片制造、板卡制造、整机制造三大环节的智能制造典型场景, 深入分析先进计算产业智能制造的发展现状与面临挑战, 为推进相关企业智能制造转型升级提供参考建议, 并对我国先进计算行业智能制造的发展趋势和未来方向进行了展望。

**【关键词】**先进计算; 芯片制造; 板卡制造; 整机制造; 智能制造

## 1. 引言

智能制造是制造强国建设的主攻方向, 其发展水平关乎我国制造业的全球地位[1]。发展智能制造, 对巩固实体经济根基, 建成现代产业体系, 实现新型工业化具有重要作用。近年来, 在工业和信息化部等相关部门、各地政府的大力推动下, 我国已累计培育了万余家国内领先的高水平智能工厂[2], 制造业研发、设计、生产、管理、服务各个环节加速重构, 智能制造新技术、新装备、新模式、新应用、新业态不断涌现, 广大企业从智能制造发展中获取红利。与此同时, 在供给侧, 根据智能制造系统解决方案供应商联盟统计数据, 智能制造系统解决方案供应商的数量近 7000 家, 作为智能制造供给侧的核心力量, 为各行业制造企业数字化转型、智能化变革提供智能装备、工业软件和系统解决方案, 成为我国智能制造生态体系的重要组成部分。

先进计算产业作为新一代信息技术产业的核心和基石, 是解决国家经济建设、社会发展、科技进步、国家安全一系列重大挑战性问题的重要产业。算力作为先进计算产业的基础设施, 生产制造过程存在产业链长、工艺要求苛刻、生产组织复杂、多品种小批量等特点, 其制造企业需要通过发展智能制造提高研发设计水平、生产效率和产品质量, 从而提高企业综合竞争力, 为先进计算产业在各行业发挥应用价值提供重要保障。

同样, 智能制造的发展需要先进的算力、算法和算据作为支撑, 算力作为智能工厂建设的基础设施之一, 在智能工厂控制层、单元层、车间层、企业层的各种工况体现重要价值。近年来, 先进计算正在与大数据、物联网、人工智能大模型、工业智能体等技术相互融合, 成为突破智能制造关键技术的重要推动力量。

本文以算力设施典型智能制造场景为研究对象, 通过实地走访、调查研究、查阅资料、专家研讨等方式, 对芯片、板卡、整机等核心产品的智能制造现状水平、存在问题、典型案例和发展方向进行分析, 以期为先计算产业智能制造创新发展提供参考和指引。

## 2. 先进计算产业智能制造概述

### 2.1 先进计算产业定义及内涵

先进计算产业的内涵在近两年发生了实质性扩展。传统定义将其框定在“计算、存储、网络、控制的融合”[3], 未免过于基础设施化。2024 年曙光信息发布的《先进计算技术演进路线图》给出了更具操作性的界定: 以算力 (Compute)、算法 (Algorithm)、算据 (Data) 为三角支撑, 向上承载 AI 大模型、向下贯通物理设备的智能化计算体系, 如图 1。这个界定迫使我们必须同时关注产业制造什么和怎么制造。其中, 核心层仍围绕中央处理器 (Central Processing Unit, CPU)、图形处理器

（Graphics Processing Unit，GPU）展开，但离开了板卡级的系统集成和整机级的供应链协同，再强的单芯片也无法转化为可用算力。



图 1.先进计算产业三大主线

算力是释放数据优势、推动数字经济创新发展的重要数字基础设施，包括芯片、服务器、电子设计自动化（Electronic design automation，EDA）等代表算力部分。算法包括计算理论、计算架构、计算系统及各类计算方法的升级，但工业界的采纳率偏低。算据主要指数据方面的大数据技术、搜索引擎等，大数据技术对先进计算的数据处理能力推动是显而易见的，但目前“数据沉睡”现象依然普遍存在。

2.2 先进计算产业发展智能制造的意义

作为工业领域设计与制造综合要求最高的算力产品，亟需智能制造的有力相助，快速实现转型升级，提升生产效率。如，制造执行系统（Manufacturing Execution System，MES）软件的有效实施，帮助生产部门实现计划及调度等信息共享与协同工作，合理配置和调度资源，实现业务流程的可视化，促进业务流程的持续优化[4]；将工业大数据分析
 与机器学习、神经网络等算法应用到晶圆缺陷检测与分类、印制电路板（Printed Circuit Board，PCB）光学量测等质量管控环节，提升芯片和板卡的质量检测和质量优化能力；运用实时优化和预测控制等技术，可以实现芯片环节的制造与建模、光刻胶轮廓预测、制程结果预测、过程控制与监控等制造过程的精准、实时闭环控制。先进计算产业的智能制造升级改造可极大地提升制造过程和制造设备的智能化程度，极大地提高生产制造各流程环节的效率和质量。

2.3 先进计算产业智能制造发展现状

算力产品经过了多年发展，已经形成了全球化分工的产业链，半导体制程等技术更新迭代速度较快，制造流程较长，对生产作业的工艺设计、监控运营要求都很高。国内先进计算产业整体起步较晚，尽管在各个领域具备了一定规模，依然面临诸多的挑战和限制。在芯片、板卡和整机等智能制造典型场景中，国内企业的前期基础积累较为薄弱，在许多领域并无先例可循，行业整体亦缺少标杆示范，先进计算产业智能制造发展路径仍需不断摸索。

3.先进计算产业智能制造典型场景分析

3.1 芯片制造智能制造典型场景分析

一台算力产品（服务器、工作站、存储等），内部零部件所占成本比例最大、最精密的部分是芯片，它控制着产品的一切，也是先进计算产业的最核心部分。面向先进计算的芯片制造供应链上游中，美国及盟友日本设立了高度的技术壁垒，在国际上牢牢占据着上游地位，如日本的光刻胶、荷兰ASML的光刻机，美国AMAT的刻蚀机等。在中游阶段，美国的Intel、韩国的三星等企业能独立完成芯片设计、制造及封测过程的一体化制造（Integrated Device Manufacturer，IDM）模式，而国内采取IDM模式的企业较少。精细化分工模式中，华为的海思、美国的高通等负责芯片设计，台积电、中芯国际等负责制造，通富微电等企业负责封测，上下游各环节之间联系更紧

密[5], 如图 2。

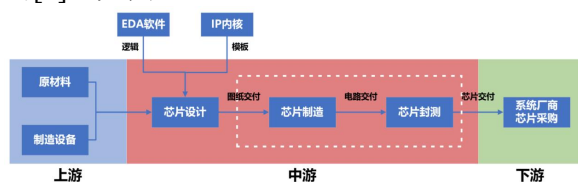


图 2. 芯片制造产业链

芯片封测包含封装和测试，其中封装的工艺流程为：基板准备→晶圆检测→晶圆切割→晶片拾取→晶片贴装→散热片贴装→最终检测。晶圆变成芯片要经过 50 多道工艺流程，每个流程的工艺变动都会造成芯片缺陷，需要企业对生产制造的全流程进行控制和优化，以提高产品良率，这需要投入大量资金设备、引入专业技术人员。面对较高的固定资产折旧和人工成本压力，如何提升产能利用率，稳定芯片封测质量，是企业增强盈利能力的关键。

芯片行业技术创新持续进步，随着高速宽带网络芯片、各种数模混合芯片和特殊电路芯片等高端产品需求的增加，国内芯片封测行业不断取得进展。摩尔定律的逐渐放缓，芯片设计逐渐进入瓶颈期，材料和封装技术的进步越来越受到重视，逐渐朝着小型化和集成化趋势发展。因此，当前芯片封测的特点和难点主要集中在生产作业、设备管理、质量管控等环节。

### 3.1.1 生产作业场景

场景需求：芯片封测产线在车间数字化、来料管理透明化、生产过程及时响应、生产计划调度等环节均面临不同程度的挑战。我们在实地调研中发现，封测车间数字化较低，缺少实时记录，如关键设备的 OEE 数据需要操作工每 2 个小时手动抄录，造成瓶颈制程；来料监测环节，芯片电性质、挑料规则等来料管理环节管控机制不明晰、不透明，散落在不同的电子表格中；针对生产计划调度的即时排程达成率等关键指标，各部门生产现况等信息缺少实时沟通；生产异常情况的判断机制及处理、测试数据的收集规则、测试程序的选取规则亟需标准化、规范化等。

解决方案：为了在生产过程进行有效管控，需要通过资源动态配置、工艺过程精确控制和精益生产管理等，构建生产过程全流程一体化管控平台，实现对各生产组态的精准管控及分析，实现产线快速调整、生产高效组织与作业协同。

关键技术：制造执行系统（MES），先进过程控制系统（Advanced Process Control, APC），流程建模、实时优化与预测控制、大数据等技术。

### 3.1.2 设备管理场景

场景需求：芯片封测的设备资源价值高，使用寿命往往在 8-10 年，具有使用周期长、维护成本高、技术管理严格等特点，需要持续、高效管理。但在我们的调研中发现，多数封测厂的设备管理仍停留在坏了再修阶段，这就对现有的设备运行管理、状态监测和修理维护等业务带来前所未有的冲击，主要表现在缺乏预警能力，维护响应迟缓，维修停工周期长，缺陷信息无法反馈等问题。

解决方案：为解决当前封测设备的运维管理需要，需要一种稳定、安全、可靠、易扩展的解决方案，建立预测、预警、预修的闭环机制，实现车间设备管理无纸化、自动化与透明化。将每日产能目标、设备状态以及运行情况等清晰地展现出来，实现车间多种异类设备的可视化管理。

关键技术：物联网、故障预警、数据挖掘、故障预测与健康管理系统（Prognostics Health Management, PHM）、智能传感等技术。

### 3.1.3 质量管控场景

场景需求：以一个典型的 BGA 封装流程为例：一颗芯片从晶圆切割到最终测试，要经过 23 道工序、涉及 14 种不同的设备类型，每道工序都产生工单（Work Order）、批次号（Lot）、载具编号（Cassette ID）和晶圆编号（Wafer ID）等多种标识。要保证芯片封测制程稳定，对即时管制生产记录、质量追溯等质量管控方法提出了更高的要求。工厂车间的现场工单（Work Order）、生产批（Lot）、盒号（Cassette ID）或芯片片号（Wafer ID）的生产制程、机台设备及制程参数等现场数据，需要被正确记录。能够采集制程中的各项质量信息，感知制程异常状态，快速采取行动，实现精准质量追溯。

解决方案：基于机器视觉、集成条码、标识等先进技术的全流程质量追溯、上下游协同优化的智能制造系统解决方案，可实现芯片的精细化质量管控，提高芯片产线的稳定性和效率，提速芯片智能制造升级。

关键技术：集成条码、RFID 标识，机

器视觉、深度学习、缺陷检测、质量管理体系(Quality Management System, QMS)等。

### 3.2 板卡制造智能制造典型场景分析

板卡,是电子信息产业中不可缺少的基础组件。作为“电子产品之母”的板卡,是先进计算产业中极为重要的一环。板卡主要由PCB、各类元器件及各类插槽接口等组成;在PCB基板上通过表面贴装技术(Surface Mounted Technology, SMT),将各类元器件与插槽接口焊接固定在板上,经过检测测试,包装为成品。其主要工艺制程分为印制电路板(PCB)和电子装联(Printed Circuit Board Assembly, PCBA)。板卡制造整体流程如图3。



图3.板卡制造流程

板卡制造由于其自身的工艺特点以及未来的发展趋势,越来越复杂的制板工艺、越来越小的元器件和越来越高的装联难度,要求厂商在计划调度、生产作业、仓储配送及质量管控等方面,投入更大的精力与时间。因此,当前板卡生产制造特点和难点主要体现在计划调度、生产作业、仓储配送、质量管控等环节。

#### 3.2.1 计划调度场景

场景需求:一块典型的服务器主板涉及800-1200种元器件,任何一个料号的短缺都会导致整线停转。元器件物料数量庞大且车间信息化水平较低,导致物料不能及时采购、运输至产线上。许多制造厂商导入信息化的时间比较早,前期缺乏整体的信息系统架构及规划,制造过程中存在多个系统。

解决方案:在生产车间各个关键制造环节中运用信息技术、大数据、系统集成等技术,建立统一的数据中台,依托信息化系统消除端到端之间的信息断点,实现互联互通,通过智能化排产、预测、决策来提升产线效率。

关键技术:调度机理建模、寻优算法和工艺分解等技术。

#### 3.2.2 生产作业场景

场景需求:板卡制造属于典型的离散型制造,工艺过程复杂,机台作业人员多,上下板流程间搬运频繁;产品复杂度增加,PCB制造流程长且复杂,涉及设备种类多,

管控点多,工序内需要进行合理计划及多点管控,管理难度大。

解决方案:为实现产线具备柔性生产能力,智能产线需具备智能化、单元化、模块化功能,通过集成人工智能、机器人、MES、仓储管理系统(Warehouse Management System, WMS)等技术和产品,搭建车间智能平台,对来料、半成品、成品自适应柔性生产。

关键技术:人工智能、机器人、人机交互、产线柔性配置、工艺参数优化技术。

#### 3.2.3 仓储配送场景

场景需求:随着板卡制造工艺越来越复杂,元器件越来越多,来料、仓储、生产等环节管理信息不透明,无法和产线排产计划衔接,存在生产备料短缺等情况,造成产能资源浪费;传统仓储配送智能制造程度低,部门间协调性差、缺乏柔性,制约了智能物流建设的步伐。仓储问题是板卡厂最容易被忽视、却最能直接见效的改善点。

解决方案:优化板卡制造的仓储及物流配送管理,实现库位管理,实现与企业资源计划系统(Enterprise Resource Planning, ERP)、WMS、MES数据的实时交互,全面优化发料配送模式,保证实时信息传递,提升仓储配送的效率、优化现场人员配置结构。

关键技术:仓储管理系统(WMS)、应用条码、集成视觉/激光导航、室内定位、机器学习、定位追踪、物联网和5G等技术。

#### 3.2.4 质量管控场景

##### (1) 智能在线检测

场景需求:精细化管理难,产品难追溯。制造过程控制点均靠人员进行点检、识别和记录,无法将现场信息有效协同。

解决方案:PCBA制程中,为进一步提升在线自动光学检测(Automated Optical Inspection, AOI)的稳定性,需要将3D AOI与人工智能(AI)影像识别技术相结合,为异性元器件建立标准的3D零件库,通过人工智能、专家识别系统对海量数据学习分析,积累数据库,最终实现自动侦测出不良品,降低人员复判作业,提升后续装联质量。

关键技术:缺陷机理分析、人工智能、机器视觉及专家系统等技术。

##### (2) 质量精准追溯

场景需求:生产过程中的管控力度粗放,良率提升遭遇瓶颈;数据采集延迟且准

确性低，无法快速分析结果；产品加工尚未数字化、无纸化，查找效率低，追溯难。

解决方案：针对全流程控制，检测物料，板卡半成品和成品等质量问题，需导入全面质量管理体系平台，加快质量异常事件的处理速度，实现对物料、工序及人员等生产过程信息的记录，建立产品与构成要素之间的双向追溯。

关键技术：集成条码、标识、二维码等技术。

### 3.3 整机制造智能制造典型场景分析

整机（服务器、个人计算机、存储器等）是先进计算产业中重要的基础硬件，也是最早实现关键领域国产化替代的环节之一。在先进计算产业链中，整机厂商常常扮演集成商的角色，利用天然的生态优势整合优势，将芯片、板卡、存储、应用软件、操作系统等核心软硬件进行组合，以“通用产品+定制化服务”的模式推给下游各行业客户。

整机制造是一个复杂的系统工程，需要智能装备、精益管理与各类信息化系统深度融合，将芯片、内存、硬盘、网卡等零部件精准组合在一起，在装配过程中保证各精密组件的毫发无损。整机的生产制造是典型的离散型制造模式，生产过程包括 CPU 装配、内存装配、散热器装配、电源装机箱、主板装机箱、硬盘装配、扎线捆绑、老化测试等环节，如图 4。

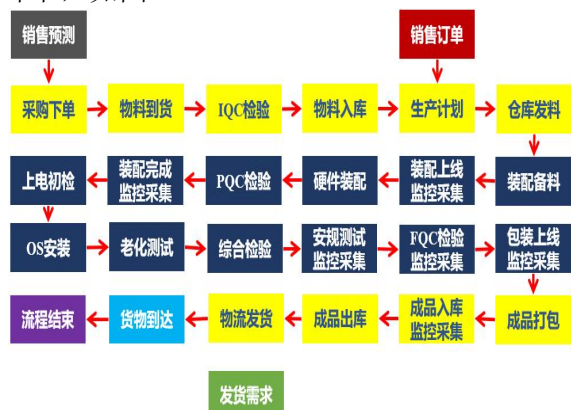


图 4. 整机制造流程图

一直以来，整机硬件设计、制造及优化完全是由整机及零部件厂商主导，但随着云计算、物联网、人工智能（AI）、虚拟现实（VR）/增强现实（AR）等新型互联网应用的快速涌现，终端用户对整机厂商提出了多样化的业务负载和硬件资源要求。厂商必须在用户个性化需求的基础上，实现产品低成

本、高品质、高可靠的大规模生产。当前，整机智能制造特点和难点主要集中在工厂设计、生产作业、供应链管理等环节。

#### 3.3.1. 工厂设计场景

场景需求：整机工厂建设投资大，涉及厂房设计、产线规划、工艺布局、仓储配送等方面。为保证达到预期产能，在有限空间下实现最大产能与柔性化需求，需统筹考虑各区域布局，考虑产品结构变化和经济性，这对基于模型的工厂规划、设计与交付的三维建模、系统仿真、设计优化和模型移交提出了相当高的要求；涉及厂房结构、水电气管路、安防环保、网络布线、生产设备和仓储物流设备等建模工作，建模对象用途各异，结构差异大。

解决方案：通过三维建模、系统仿真、设计优化和模型移交，实现基于模型的工厂规划、设计和交付，提高设计效率和质量，降低成本。

关键技术：有限元仿真、虚拟验证、三维设计与仿真软件、制造系统仿真等技术。

#### 3.3.2. 生产作业场景

场景需求：服务器整机组装工序相对简单，但车间自动化、智能化程度较低，产线仍以人工装配为主；整机产品生产周期短，更新迭代愈加频繁，随着定制化程度愈来愈高，产线每天面临大量定制化订单，切线时间增加、装配标准作业程序（Standard Operating Procedure, SOP）繁多、物料配送复杂、人工分配不合理、生产直通率低等问题逐渐暴露；老化测试环节，缺乏有效统一管理，通用测试用例无法满足用户需求，原始测试情况缺少追溯手段。

解决方案：构建整机生产制造执行系统（MES），集成自动识别、大数据、机器人、模块化等技术，搭建柔性可重构产线，实现产线适应订单和工况、快速换线、混线生产。

关键技术：大数据、产线柔性配置、专家系统、协作机器人、人机交互、机器视觉、人工智能等技术。

#### 3.3.3. 供应链管理环节

场景需求：供应链风险的复杂性在于下游需求的微小波动会沿着供应链向上游逐级放大。整机厂商的零部件供应商众多，芯片、硬盘、内存等主要零件交期长，容易产生呆滞料，需要做好风险预警与弹性管控；当前环境下，供应链持续紧张，需根据市场

环境提前做好采购策略优化。

解决方案：通过采购策略优化、供应链可视化、物流监测优化、风险预警与弹性管控等，实现供应链智慧管理，提升供应链效能、柔性和韧性。

关键技术：大数据、寻优算法、知识图谱、供应链管理系统（SCM）、远程管理等技术。

#### 4.先进计算产业智能制造前景展望

##### 4.1 国际产业链重构倒逼先进计算产业制造高端化、智能化

当今世界正处于新一轮科技革命和产业变革的交汇期，已经来到了一个在先进计算领域群雄逐鹿、重点角力的时代。先进计算产业作为关乎国民经济和国家安全的战略性新兴产业，弯道超车、突出重围，实现长足发展刻不容缓。因此，先进计算产业智能制造发展的内驱力激增，将迎来黄金发展期。算力设施制造企业要积极把握市场变化中的机会，聚焦产品全生命周期，利用数字化工具、智能化手段突破关键核心工艺，加速物联网、大数据、人工智能大模型、工业智能体等新一代信息技术与芯片、板卡、整机等的研发设计、生产制造、仓储物流、质量管理等环节的有机融合，建设虚实融合、知识驱动、动态优化、安全高效、绿色低碳的智能工厂，推动行业整体转型升级[6]。

##### 4.2 国内政策环境为先进计算产业智能制造提供丰沃土壤

2015年以来，我国从推进中国式现代化全局的高度，系统部署建设数字中国、制造强国、网络强国等重大国家战略，强调要加快发展数字经济，促进数字经济和实体经济深度融合。国家发展改革委联合工业和信息化部等部委持续推进“东数西算”工程，构建数据中心、云计算、大数据一体化的新型算力网络体系，优化数据中心建设布局[7]。据统计，随着数字技术向经济社会各领域全面持续渗透，全社会对算力需求快速增长，这意味着，将带来数据中心、交换机、服务器数量等先进计算产品的指数级增长，包括上游的原材料及生产装备，中游的芯片研发制造，以及下游的运维服务，产业链各环节制造企业将从中广泛受益。工信部等六部门联合发布的智能制造发展规划中指出，要针对电子信息等领域细分行业特点和痛点，制定智能制造实施路线图，分步骤、分阶段推进智能制造。2026年，国家层面进一步提出

要以发展新一代智能制造为主攻方向，加力实施产业基础再造工程、制造业重点产业链高质量发展行动，加快关键核心技术攻关，提升能源资源保障能力，增强产业链韧性和安全水平。种种政策表明，在先进计算产业规模急速扩张的市场牵引下和智能制造关键技术、核心装备的强力加持下，先进计算产业智能制造的发展土壤将越发肥沃丰厚。

##### 4.3 智能制造典型场景为先进计算产业智能制造发展探寻路径

智能制造典型场景是指面向制造全过程的单个或多个环节，通过新一代信息技术、先进制造技术的深度融合，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。截至2025年底，工信部已累计遴选发布数百个智能制造示范工厂和上千个典型场景，其中先进计算产业领域涉及曙光、浪潮、长电科技等多个示范工厂和典型场景[8]。这些企业本来就有较好的信息化基础，投入力度大，且有专门的数字化转型团队。他们从行业属性和特征出发，围绕工艺设计、计划调度、生产作业、仓储配送、质量管控、设备管理等重点环节，建设高效配送、资源协同和生产柔性化的芯片、板卡和整机智能制造示范工厂，探索人机高效协作、在线精密检测、工业人工智能等新技术和大批量定制、基于数字孪生的制造新模式，实现生产全流程智能决策、产供销一体化管控和产业链协同优化。他们凭借长期的专业技术积累和对行业的深刻理解，先行探索形成了一批较成熟、可复制、可推广的新模式、新业态，同时也让更多的企业实实在在看到发展智能制造带来的好处，激发转型升级的内生动力，引领先进计算产业向智能制造迈进。

##### 4.4 系统解决方案和专业化供应商队伍为先进计算产业提供坚实保障

多年来，我国智能制造供给和创新服务能力不断提升，智能制造领域装备、软件供应商与用户企业联合开展跨学科、跨领域融合创新，培育形成了近7000家了解行业需求、具备较强系统集成能力、行业推广经验丰富的系统解决方案供应商，服务范围覆盖了90%以上的制造业门类[9]。其中，以鼎捷软件等为代表的电子信息领域专业系统解决方案供应商，针对先进计算领域的硅片材料、外延、芯片制造、封装与测试等制造供应链生产管理，提供制造执行系统、设备集

成、检测数据采集、参数管理、质量管理等生产管理解决方案,通过对企业现状梳理,拆解出存货管控能力差、产能无法实时追踪、客户关系管理不足等问题,通过建立快速的订单响应流程机制,打造代理商订单的快速报价与交期回复流程,实现各制程快速下单及按时生产数据的快速导入,有效支撑了智能制造在先进计算制造企业的落地。

#### 4.5 先进计算与智能制造互相反哺、和谐共生释放无限潜力

先进计算与智能制造之间确实存在一种互相反哺的关系。一方面,先进计算产品生产制造过程存在产业链长、工艺要求苛刻、生产组织复杂、多品种小批量等特点,确实需要智能制造来提升研发设计水平、生产效率和产品质量,从而提高企业综合竞争力,为先进计算产业在各行业发挥应用价值提供重要保障;另一方面,智能制造的发展需要先进的算力、算法和算据作为支撑,算力作为智能工厂建设的基础设施之一,在智能工厂控制层、单元层、车间层、企业层的各种工况体现重要价值。近年来,先进计算正在与大数据、物联网、人工智能大模型、工业智能体等技术相互融合[10],成为突破智能制造关键技术的重要推动力量。展望未来,工业大模型和智能体技术将深度赋能先进计算产业智能制造,推动制造知识沉淀、工艺优化和自主决策能力实现质的飞跃。

#### 5. 结论

本文试图从产业实际场景出发,围绕先进计算产业智能制造的真实困境和可行路径,系统分析芯片制造、板卡制造和整机制造三大核心环节的智能制造典型场景。在芯片制造环节,重点阐述了生产作业、设备管理和质量管控三大场景的核心需求、解决方案与关键技术,揭示了芯片制造过程对精细化管理和全流程追溯的迫切需求,目前MES、AOI、SPC等系统都有,但数据孤岛、人员依赖、模型失配等问题导致实际效果打折扣。在板卡制造环节,深入分析了计划调度、生产作业、仓储配送和质量管控等场景,核心矛盾是多品种、小批量的生产模式与标准化、自动化的技术路径之间的矛盾,展示了智能制造技术在提升板卡生产效率和产品质量方面的重要作用,但距成熟还有一定空间。在整机制造环节,聚焦工厂设计、生产作业和供应链管理等场景,说明了智能制造对整机制造企业实现柔性化生产和

高效协同的关键价值,但自动化、智能化改造的经济性论证仍是最大障碍,需要企业具备较强的工艺分解能力和IT集成能力。我们认为,先进计算产业的智能制造

展望未来,先进计算产业在国际产业链重构、国内政策环境优化、典型场景示范引领以及系统解决方案供应商能力提升等多重因素驱动下,先进计算产业智能制造将迎来重要的发展机遇期。建议先进计算产业制造企业积极把握发展契机,加大智能制造投入力度,不盲目追求一步到位的完美方案,而应该采取痛点驱动、阶梯推进的策略——从最痛的环节入手,用最小的投入换取最明显的改善,逐步积累数智化能力和组织信心,充分发挥智能制造在提升生产效率、降低运营成本、提高产品质量等方面的价值,为我国先进计算产业高质量发展提供有力支撑。

#### 参考文献

- [1] 周济.智能制造——“中国制造2025”的主攻方向[J].中国机械工程,2015,26(17):2273-2284.
- [2] 刘育英.经济观察:业界人士探讨未来智能工厂什么样[J].企业观察家,2024,(4):80-81.
- [3] 杨宏,郭雄,李孟良,等.先进计算技术与标准研究[J].中国标准化,2018,(20):243-245.
- [4] 王晋.制造执行系统的研究现状和发展趋势[J].兵器装备工程学报,2016,37(2):92-96.
- [5] 刘忠范,彭海琳.芯片制造关键材料的研究进展与展望[J].科学通报,2022,67(18):2011-2024.
- [6] 王阳元,康晋锋.我国集成电路制造产业发展现状与对策[J].中国科学:信息科学,2021,51(6):859-876.
- [7] 刘雨琦.“东数西算”工程启动,云计算巨头如何布局数据中心?[J].大数据时代,2022,(3):46-55.
- [8] 苏波,李培根,瞿国春,等.我国智能制造发展十年回顾总结与未来展望[J].中国工程科学,2026,28(1):48-57.
- [9] 胡成林,韩丽,左鹏.智能制造生态发展研究[J].智能制造,2024,(1):18-25.
- [10] 柴天佑,丁进良.工业人工智能发展趋势与关键技术[J].自动化学报,2022,48(10):2341-2356.