

江苏省制造业智改数转网联 卫星行业实施指南

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	2
2.1、行业总体概述	2
2.2、江苏省卫星行业发展情况分析	4
2.3、卫星行业发展趋势	6
3、行业“智改数转网联”现状.....	8
3.1、“智改数转网联”概况.....	8
3.2、企业发展层次概况	10
二、目标与架构.....	14
1、总体目标	14
2、实施架构	14
三、基础能力.....	19
1、网络基础设施能力建设	19
1.1 网络内外网建设	19
1.2 企业网络建设思路	20
2、数据采集能力建设	21
2.1、设备改造解决思路	21
2.2、数据管理解决思路	23
3、信息系统能力建设	25

3.1、信息化系统建设	25
3.2、企业信息化建设发展思路	29
4、信息安全管理能力建设	30
4.1 设备安全方面	30
4.2 控制安全	31
4.3 网络安全	32
4.4 应用安全	33
4.5 数据安全	33
四、环节与场景	35
1、产品设计环节	36
1.1、产品数字化研发设计	36
1.2、虚拟验证与中试	39
2、工艺设计环节	42
2.1、工艺数字化设计	42
3、生产作业环节	47
3.1、产线柔性配置	47
3.2、人机协同作业	51
3.3、数智精益管理	55
4、质量管控环节	59
4.1、在线智能检测	59
5、仓储物流环节	62
5.1、智能仓储	62

5.2、精准配送	66
6、设备管理环节	70
6.1、设备运行监控	70
7、信息基础设施环节	72
7.1、工业信息安全管理	72
五、路径与方法	76
1、实施路径	76
1.1、总体实施原则	76
1.2、实施路径规划	77
1.3、实施方法及建议	83
2、相关政策	87
2.1、诊断评估政策	87
2.2、企业赋能政策	94
2.3、供需对接平台	101
六、愿景与展望	106
附件：	109
附件 1：人工智能典型应用场景	109
附件 2：投入改造清单及图谱	114
1、 行业系统化场景图谱示意图	114
2、 行业智能化改造装备清单	119
3、 数字化转型数据要素清单	121
4、 知识模型资源清单	122

5、工具软件清单	124
6、网络化联接设备清单	126
7、行业数字化转型人才技能清单	128
附件 3：典型案例	130
案例 1：银河航天科技(南通)有限公司	130
案例 2：南京晨光集团有限责任公司	133
案例 3：国睿科技股份有限公司	136
案例 4：北方信息控制研究院集团有限公司	139
案例 5：南京电子设备研究所	142
案例 6：江苏屹信航天科技股份有限公司	145
案例 7：江苏深蓝航天有限公司	148
案例 8：苏州馥昶空间技术有限公司	151
案例 9：苏州吉天星舟空间技术有限公司	154
案例 10：南京中网卫星通信股份有限公司	157
附件 4：服务商目录	160
附件 5：技术缩略语	164
附件 6：智能制造典型场景参考指引（2024 年版）	168

一、背景与现状

1、指南范围

卫星行业已成为推动新质生产力发展的关键力量，从通信卫星的全球覆盖、导航卫星的精准定位，到遥感卫星的广泛应用，卫星技术的迭代升级正逐步改变着社会化进程和全球发展格局。近年来，江苏相继出台多项支持商业航天发展的政策规划。《江苏省航空航天产业发展三年行动计划（2023—2025年）》、《江苏省推进遥感卫星应用产业高质量发展三年行动方案（2023—2025年）》等政策文件明确提出要推动卫星生产制造、运营服务和融合应用全产业链培育，推动商业航天等新兴产业安全健康发展，凸显了江苏对商业航天及卫星行业的重视程度。

本指南主要面向江苏卫星产业链上中下游企业，基于企业发展现状及行业发展趋势，重点针对整星、卫星平台、卫星载荷、火箭、地面设备等产品，围绕产品设计、工艺设计、生产作业、质量管控等多个关键环节和场景，梳理场景中存在的共性问题，总结场景改造建议，并结合解决方案案例沉淀优秀做法。指南提出了企业“智改数转网联”的实施路径与不同规模企业的实施建议，提供了典型投资改造清单、典型案例、服务商目录，相关企业可参照本指南推进“智改数转网联”实施工作。

2、行业概述

2.1、行业总体概述

当前，太空已成为与陆、海、空并列的战略空间，世界主要国家均将太空视为夺取未来战略发展优势和维护本国利益的关键力量。商业航天作为太空产业商业化的典型，可细分为运载火箭、人造卫星、载人航天、深空探测和空间站等领域。其中，卫星作为发射量最多、发展最快、用途最广的航天器，发射数量占航天器发射总数的 90% 以上，是开展航天活动的核心载体。

全球卫星产业目前已形成以美国为主导、多国竞相布局的竞争格局。美国凭借 SpaceX 等企业的技术突破，在低轨卫星星座（如星链计划）和可重复使用火箭领域占据领先地位，其卫星产业收入占全球市场近半份额。欧洲通过伽利略导航系统强化全球定位服务能力，俄罗斯持续推进 GLONASS 系统更新，日本则在小型卫星和遥感领域加大投入。值得注意的是，低轨卫星（LEO）成为全球竞争新热点，2025 年全球低轨通信卫星市场规模预计突破 300 亿美元，主要国家加速抢占轨道资源与频段优势。从卫星发射数据上看，截至 2024 年底，全球在轨运行卫星数量超过 7,500 颗，其中通信卫星占比超 60%。

中国的卫星产业在一系列政策加持下，卫星产业链已初步形成，并在多个领域实现突破，正进入有为政府与有效市

场结合转型期。中网的“GW”低轨星座（共计 12992 颗卫星）被外界誉为中国版“星链”，上海松江区牵头的“千帆星座”计划（2030 年 1.5 万颗低轨卫星）在 2023 年启动，标志着卫星产业迎来重大发展机遇。截至 2024 年底，我国累计超 1000 颗卫星绕地球在轨运行。2024 年，我国共实施发射任务 68 次，位居世界第二；全年研制发射卫星 257 颗，总质量约 202 吨，在发射卫星数量和总质量方面均位居世界第二并持续刷新记录。从市场规模看，据中国航天工业质量协会统计，从 2018 至 2023 年，商业航天市场规模由 0.6 万亿元突破至 1.9 万亿元，年均增长率达 23%，2024 年市场规模超 2.3 万亿元。2024 年中国卫星行业市场规模超过 3600 亿元，商业航天未来市场前景较为乐观。

从产业链分析，卫星产业的上游主要指空间段的基础设施建设，包括卫星平台、有效载荷、火箭制造与发射服务；中游指地面设备制造和运营，主要包括地面地球站、用户终端、通导遥卫星系统网络运营等；下游主要是指星地互联及应用，围绕军用、民用及新技术验证等场景，开展星细分场景下的应用。具体如下图 1 所示。

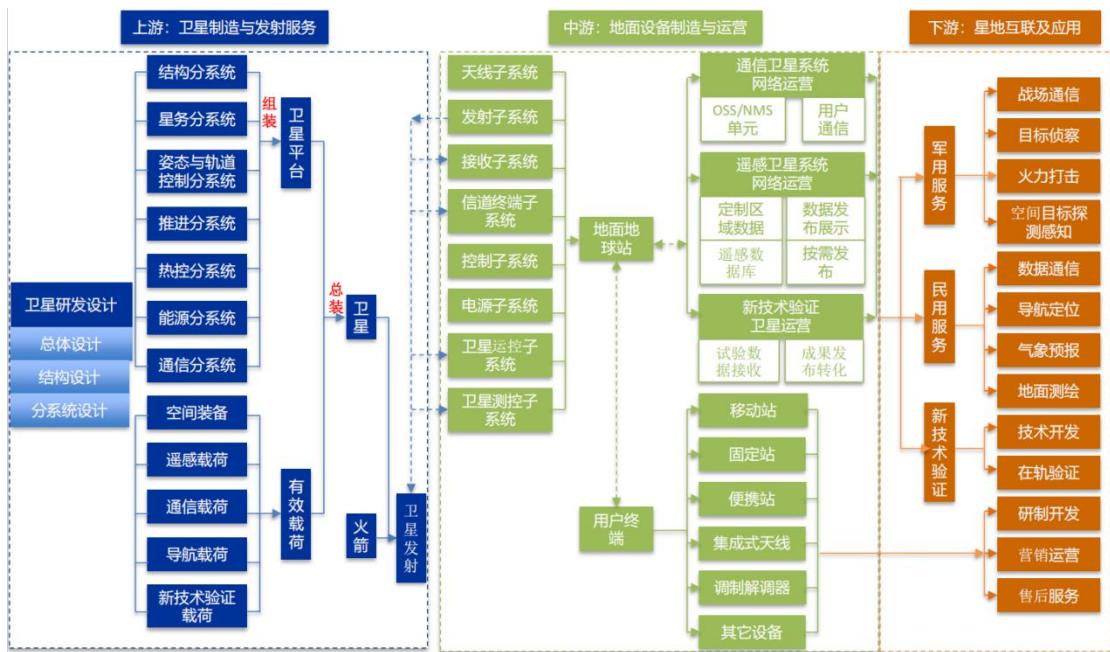


图 1-卫星产业链主要环节构成

2.2、江苏省卫星行业发展情况分析

江苏作为制造业强省、军工大省、航天大省，是长三角地区卫星研制与应用的核心力量，已基本形成了以南京、苏州、南通、无锡为核心的商业航天产业格局。

（1）科研实力雄厚

江苏拥有近 20 所具备卫星研发试制、高分辨率探测、复合遥感载荷、电子对抗、军民通信等关键技术研制能力的高等院校和科研院所。其中，南京理工大学在微小卫星总体设计和空间在轨服务等领域已处于国内领先水平；南京航空航天大学在深空探测与隐身卫星设计等领域优势显著；南京大学的 X 射线暗物质信号探测技术、苏州大学的全息衍射光栅技术、南京电子设备研究所的多功能一体化复合遥感载荷、

南京地质调查中心的光谱对地探测技术装备等均已达到国际先进水平。

（2）制造体系发达

江苏省在卫星通信领域围绕卫星平台、有效载荷、地面设备、卫星服务等全产业链关键环节，已汇聚 30 余家国内领先企业。在卫星平台领域，馥昶空间与中国东方红卫星、中科院微小卫星、长光卫星等签订 120 余颗商业微小卫星电源系统配套订单；熊猫汉达自主研发 FH 一号卫星通信系统，承担 FH 二号卫星通信系统技术总体和所有站型的研制；纳飞卫星动力获得我国“GW”低轨星座计划的 100 台套供货意向；银河航天科技（南通）建成后将实现年产 300-500 颗卫星。在卫星服务领域，中网卫通的卫星通信车载站等主营产品在气象、安监、环保等行业的市场占有率超 70%，位居国内卫星 VSAT 运营领域前三；中星北斗（江苏）正加快建设卫星制造基地、地面接收站、空间信息大数据中心，将促进微小卫星全产业链综合能力提升。

（3）应用场景丰富

在卫星通信领域，我省通过物联网、云计算和卫星大数据等技术，集成空间地理信息，有效整合城市管理系统，实现了智慧城市各系统间的信息共享和业务协同，推动了城市智慧化管理和公共服务水平提升。在卫星导航领域，中国北斗卫星导航（南京）产业基地产业规模已突破 100 亿元。苏

州中国科学院地理信息与文化科技产业基地聚焦导航位置服务，联合北航开展芯片研发、终端开发和业务应用系统建设，成为北斗应用与产业发展的创新高地。此外，江苏（无锡）车联网先导区利用北斗导航 0.1 米级高精度定位功能，实现了无人巴士、无人配送等多种业务场景的示范运营。在卫星遥感领域，高分辨率对地观测系统江苏数据与应用中心汇聚了多种卫星遥感数据，存储容量超 20PB，处理量大于 5000 景/天，该中心在智慧城市、生态环保、智慧交通、水利水文、资源调查与监测、智慧农业和气象观测等领域开展了广泛应用，如构建了“空天地一体化”智慧监测体系，提供常态化遥感信息服务，实现耕地地块提取和作物类型识别等。

虽然江苏的卫星产业链已初步形成，制造环节优势突出，但总体设计环节偏薄弱，高度依赖北京、上海等地，导致产业链附加值外流。江苏省产业链资源过度集中在南京、无锡、苏州、南通等城市，苏北地区的配套能力不足，呈现出区域发展不平衡的现象，导致产业链协同效率低下。市场来看，受核心技术瓶颈、成本制约以及市场需求尚未释放，江苏卫星产业总体规模仍偏小。在关键技术领域，卫星载荷、火箭发动机等关键技术亟待突破，应用生态较为薄弱、跨行业协同不足等问题仍待解决。

2.3、卫星行业发展趋势

（1）技术研发层面：基于新型星载原子钟、多功能一体

化复合遥感载荷等新技术的有效载荷在轨重构能力正加快发展；卫星星座间的星间激光链路技术正加快在轨验证和标准化测试评估，通信速率可达 100Gbps 以上；基于智能化结构组合、自修复材料等新技术的卫星研制有望将其寿命延长至 7~8 年；以电推进器为代表的微型推进器正朝小型化、低功耗、全固体、电推进、可回收等方向快速迭代。

(2) 设计制造层面：以有效载荷为主、卫星平台为辅的卫星设计理念和智能化灵活组合平台逐步成熟，部分立方体星已成功组合至 30 款以上；以“标准化、模块化、自动化”为导向的新一代微小卫星生产线正加速建设，SpaceX 新建生产线将实现每天生产 5~8 颗微小卫星；以“多类型、多方式、低成本”理念研制的 3~5t 级小型火箭成为主流路线，发射费用预计可降低 1~2 倍。

(3) 应用运营层面：在轨软件升级与灵活服务、有效载荷设计去定制化等创新模式加速验证；聚焦增强定位导航、授时服务弹性与稳健性的低轨导航（轨道高度 < 500km）正积极探索；高空间、高时间分辨率的遥感卫星商业化占比将提升至 90% 以上；以卫星星座和编队飞行为代表的多星协作模式持续拓宽覆盖区域、提高观测精度、构建虚拟卫星，“多星组网、多网成云”概念加快演化；小型火箭正由运载工具向运输工具转变，一箭多星、多次点火、重复发射等新型方式加速普及应用。

3、行业“智改数转网联”现状

3.1、“智改数转网联”概况

近年来，江苏在卫星行业的智能化改造、数字化转型和网络化联接方面取得了显著进步，江苏省的卫星行业在部分头部企业的带动下，技术水平稳步提升，产业链不断完善，应用领域持续拓展，为推动卫星产业的高质量发展提供了有力支撑。据调研结果，行业内企业已在产品设计、工艺设计、生产作业、质量管控、设备管理、仓储物流、信息基础设施等环节开展了卫星零部件生产装配的“智改数转网联”实施。

（1）智能化改造方面

在省内头部企业的引领下，卫星行业的智能化改造取得了一定成效。大部分规模较大的企业，如南京晨光集团、北方信息控制研究院等，已部署了智能化的生产线，采用工业机器人、自动化装配设备、在线检测设备等实现了核心工序的全自动化。通过智能化改造不仅推动了生产效率的显著提升，还减少了对人力资源的依赖，同时使产品质量更加稳定可靠。南京晨光集团有限责任公司建设了具备柔性配置功能的天轨装配产线，通过工位柔性化设计、快速更换工装和吊具，实现了多型号产品混线生产，并能根据生产节拍调整工位组合，完成资源重组。该产线以工艺标准化和信息系统集成成为支撑，辅助实现柔性生产，具备灵活性、高效性和可扩展性，能够适应不同产品的需求，有效提升了生产效率、降

低了成本、减少了资源浪费。南京电子设备研究所通过智能化生产线及数字化装备、车间互联网络、制造执行系统、自动化物流系统的建设，构建了智能化车间，实现了航天电子产品在检测、焊接、测试、装配等生产过程的数字化、自动化和智能化，提升了工艺装备的运行效率，降低了工序能耗，大大的降低了现场劳动强度，提高了各生产单元的生产效率。

（2）数字化转型方面

省内领先企业已逐步构建了以 ERP、MES 为核心的信息化管理体系，部分企业进一步融合了 PLM 和 SCADA 等系统，实现了从生产计划、执行到交付的全流程数字化管控。依托这些系统，企业能够精准调度生产并优化库存管理，显著提升了生产与供应链的透明度及协同效率。国睿科技股份有限公司针对信息化程度低、多环节数据孤岛化、跨部门资源调度依靠人工、生产效率低、质量管控与标准化不足、全流程质量追溯能力差等问题，进行了系统集成与流程优化，构建跨系统协同平台，如 PDM、ERP、MES、工艺系统、档案管理系统等互联互通，实现生产计划、工艺文件、质量数据的自动调用与共享。强化生产全流程管控，通过优化排产逻辑，结合 MES 在线监测和智能协同技术，探索柔性制造模式，提升资源利用率和响应速度。苏州吉天星舟空间技术有限公司 ERP 系统实现航天产品多品种小批量生产的柔性排程，支持紧急任务插单响应；部署工艺测试与检测系统对精

密加工、真空镀膜、传函检测等关键工序全流程管控，实现质量数据（尺寸公差、表面粗糙度）实时采集与分析；构建航天大数据平台，汇聚在轨载荷性能数据、地面试验数据及供应链数据，通过 AI 工具生成可靠性分析报告，支撑产品迭代优化。

（3）网络化联接方面

江苏部分卫星企业基于产线建设逐步实现了设备网络化互联，并通过实时数据采集与分析，优化了生产流程，提高了设备利用率，增强了质量数据的可追溯性。银河航天科技(南通)有限公司通过集成精密转台、光电自准直仪、升降平台等设备，结合先进的 CCD 视觉引导和自动化控制算法，能够实现卫星部件的全自动化测量。馥昶空间在砷化镓太阳电池产线的工序环节中加入了视觉识别检测工序，可以实现产品缺陷在线识别和质量自动判定，提升了质量检测效率，检测结果实时反馈，支持数据统计与分析，便于企业优化生产流程，同时可以减少因人工疲劳或主观因素导致的漏检和误判，提升检测准确性。

3.2、企业发展层次概况

由于卫星行业具有多品种、小批量、定制化特点，企业规模、技术能力和资源条件的不同，其在智能化改造、数字化转型和网络化联接方面存在显著差异。这种不均衡导致企业在推进“智改数转网联”过程中面临多样化的需求和挑战，

整体进展难以同步。根据调研结果，该行业的企业可分为以下三个发展层次：

(1) 大型骨干生产制造企业

该层次包括国有企业、上市公司、大型民营企业等。这些企业在研发设计、生产制造、管理流程方面已较为完善，具备了较为完善的信息化和网络化基础。该类企业在结合自身产品特性的情况下，建立了自动化生产线或半自动化的柔性可配置生产线。同时，它们对业务管理流程平台、研发设计平台、生产制造平台进行了系统集成，对具备条件的生产设备进行了物联网建设，打破了信息孤岛，实现了跨业务的数据共享。然而这类企业仍面临诸多挑战，首先，智能化技术应用深度不足，生产流程的柔性化程度仍有待提高，难以快速响应市场变化和个性化需求。其次，部分企业在引入高端装备时存在“重硬件、轻软件”倾向，导致设备利用率不足，工艺知识与智能化技术融合度不高。此外，由于卫星行业产业规模仍较小，生产数据有限，导致企业对资源和制造数据的挖掘还不够充分，尚未形成系统化的知识模型来支持核心业务的精准预测和优化。同时由于卫星产业链较长，大型骨干企业在转型过程中需要与上下游企业协同推进数字化转型，但目前产业链各环节数字化水平不一致，导致协同难度大。

(2) 规模以上生产制造企业

该类型企业专注卫星产业链中的某一特定细分领域，整体处于“智改数转网联”探索实施阶段或整体规划阶段，采用了部分自动化、信息化技术手段对核心设备和业务流程进行了改造和规范。如对部分传统的“哑设备”进行了升级和改造，上线并完善 ERP、MES、WMS 和 OA 等核心信息系统，同时引入了一些关键的数字化设备，企业开始积累数字化管理的经验，并实现了部分业务流程中的数据共享。但企业内部数据资源分散在不同的业务系统中，互联互通难度大，形成了“数据孤岛”，导致系统切换频繁、快速响应难以实现等问题。同时，企业在工艺优化、质量管控等环节仍依赖人工经验，生产设备的互联互通水平较低，尚未形成覆盖生产全流程的数字化管控能力。此外，由于企业对新技术的应用场景理解不够透彻，存在盲目跟风投入现象，导致资源浪费和转型效果不达预期。这类企业的主要需求在于充分发挥生产设备和产线的潜能，逐步扩大数字化设备的应用范围，并建立数字化转型的整体框架，以实现智能制造的整体推进。

（3）小微生产制造企业

该类企业通常专注于卫星零部件试制与小批量定制化生产配套，尚未构建完善的生产制造体系，企业的“智改数转网联”基础最为薄弱，多数仍以传统制造模式为主，主要生产环节依赖人力操作，信息化工具停留在传统电子文档阶段。同时，受限于技术认知和资金压力，小微企业对智能化

改造存在畏难情绪，难以有效衔接产业链上下游的协同需求，在供应链响应速度和产品质量一致性方面面临较大挑战，而智能化改造和数字化转型需要大量资金投入，包括设备更新、系统建设、人员培训等，资金不充裕、转型投入大、回报周期长的现状导致企业对转型的投入产出比需求较为抗拒。

二、目标与架构

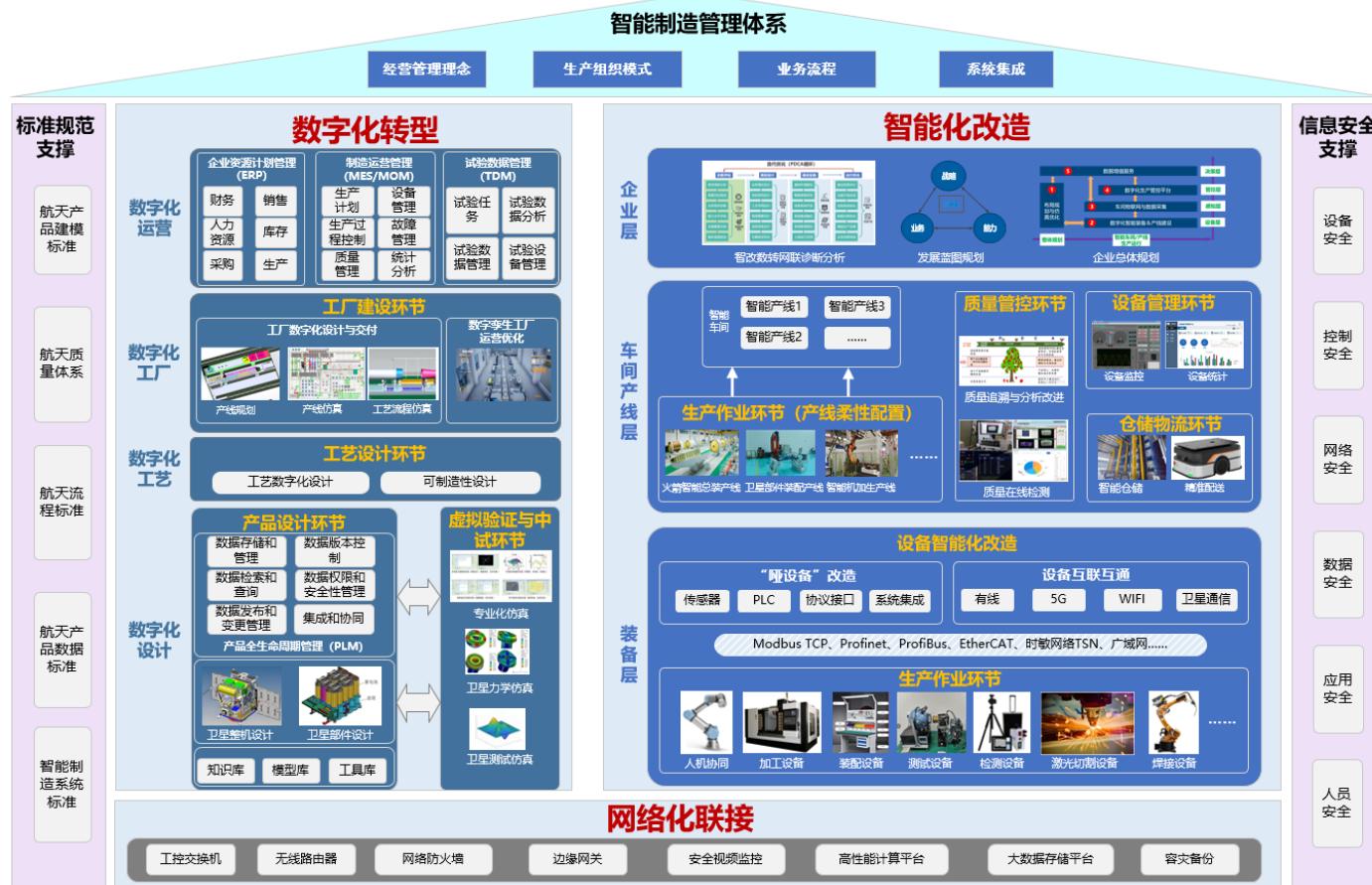
1、总体目标

深入贯彻落实《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）》、《江苏省航空航天产业发展三年行动计划（2023-2025年）》等政策文件指导要求，立足江苏省“1650”产业体系战略布局，以支撑江苏打造具有全国竞争力的商业卫星全产业链发展高地为核心，重点针对卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭、地面设备等细分领域，围绕研发设计、生产制造的多个关键环节和典型场景，系统梳理和沉淀卫星行业先进企业在“智改数转网联”过程中的创新实践及宝贵经验，提炼易于复制推广的解决方案和典型案例，摸排装备制造工业软件和基础设施等改造投入清单和优秀服务商名单，形成面向江苏省卫星行业的“智改数转网联”实施指南方案，着力解决省内卫星企业在实施“智改数转网联”过程中方向不明、路径不清等问题，以供需对接带动省内卫星产业链上下游集聚和协同发展，为基层和企业诊断服务和转型升级提供重要参考。

2、实施架构

卫星企业的“智改数转网联”架构整体按照“1个体系、2个支撑、3大能力建设”进行实施，如下图所示。其中“1”个体系为智能制造管理体系，“2”个支撑为标准规范支撑、信息安全支撑，“3”大能力建设为网络化联结能力、数字化

转型能力和智能化改造能力。



智能制造管理体系是卫星行业转型升级的核心框架，其本质是通过数字化技术重构传统制造逻辑，形成以数据为驱动的管理闭环。以打破行业壁垒为重点推动卫星制造跨领域协同，围绕卫星部件多品种、小批量的特点，建立柔性化生产组织架构，依托数字化转型实现从需求输入到产品交付的全流程数字化贯通，并强化异构系统的互联互通能力，实现设计模型、工艺参数、生产状态等数据的跨系统共享与智能分析。

标准规范与信息安全双支撑夯实“智改数转网联”能力建设基石。标准体系是卫星行业智能制造落地的技术纲领，主要包含了航天领域产品建模、质量体系、流程、标准、智能制造系统等方面标准内容，形成卫星行业特有的技术标准簇；信息安全针对卫星行业涉及的国家安全与企业核心技术，包含设备、控制、网络、数据、应用、人员等维度安全管控内容，通过构建“云-边-端”的立体防护体系，筑牢数字安全防线。

网络化基础是“智改数转网联”的物理载体，通过建设高可靠、低时延的工业网络环境，部署工业安全态势感知平台，满足卫星部件精密装配等典型场景的实时控制及安全防御需求。通过边缘侧部署智能网关及端侧的计算与存储资源，支持大规模的仿真分析、数字孪生以及人工智能应用。数字化转型从数字化研发及仿真、数字化工艺、数字化工厂建设、

数字化运营等方面实现卫星业务重构，在数字化研发及仿真方面，利用三维建模、多学科仿真优化设计，实现数据共享；在数字化工艺方面，通过工艺仿真、智能终端指导和数据追溯提升工艺水平；在数字化工厂建设方面，集成自动化设备、智能仓储和设备互联，实现生产智能化；在数字化运营方面，依托数据中台、供应链协同和质量管控优化运营效率。智能化改造按照分层架构，分成装备层、车间产线层、企业层。其中装备层主要针对多类型工艺特点，针对具体生产作业环节研发专用工艺设备，如装配设备、机加设备、检测设备、特种加工设备等，实现单点工序的自动化生产作业，并通过设备改造实施，实现数据采集和互联互通；车间产线层则围绕规模化生产需求，构建以机械加工、装配、检测等卫星部件生产线，同时满足仓储物流、设备管理及质量管控等多维度智能化发展需求，企业层核心围绕企业“智改数转网联”需求开展企业顶层诊断及规划设计工作，为企业提供中长期发展蓝图及智能车间产线建设提供指导方案。

三、基础能力

1、网络基础设施能力建设

1.1 网络内外网建设

企业内外网是卫星企业实施智改数转网联等基础层级的建设工作，无论从智能工厂建设的系统维度，到产品生产的生命周期维度，还是从智能化的特征维度都离不开网络的数据传输，网络建设都是推进数字化改造的前提。

卫星企业在开展网络基础能力建设过程中，应基于企业开展的业务特点，尤其针对军工企业的保密性特点，按照两网架构方式进行构建，即分为内网与外网两大部分。两网通过安全隔离设备实现逻辑或物理隔离，形成生产控制与外部协同的双向闭环。

内网以工业现场为核心，覆盖设备层、产线层、车间层及企业层，主要承担生产数据采集、设备控制指令传输、制造执行系统与资源计划系统的交互等功能。如，设备层通过工业以太网连接数控机床、机器人、传感器等终端，实时传输加工参数与设备状态；车间层则整合 MES 与 SCADA 系统，实现生产调度与工艺优化。

外网则面向总部联动、供应链协同及客户服务，连接供应商管理系统、客户关系管理、集团级 ERP 系统等，通过 VPN 或专线实现跨地域数据同步和协同办公。

1.2 企业网络建设思路

对于不同规模企业，网络环境建设应需根据其业务复杂度、资源能力和发展阶段制定差异化策略，既要避免过度追求技术先进性导致的资源浪费，也要防止因架构僵化制约未来扩展。企业应围绕核心业务需求，构建灵活、安全、可持续演进的网络体系，逐步实现从基础连接向智能协同的跃迁。

（1）大型骨干生产制造企业应强化顶层设计与生态协同

大型企业的网络化建设需立足全局视角，打破内部部门壁垒与外部生态边界，构建支撑全价值链协同的数字化基础设施。在战略层面，应建立统一的数字基座，整合生产、研发、供应链等环节的数据资源，形成跨业务板块的标准化数据交互体系。通过搭建企业级数据平台，实现设备状态、订单进度、库存信息等核心要素的实时共享，为生产调度优化与市场快速响应提供支撑。技术架构上，可采用“集中管控+分布式部署”的混合模式。集团层面部署高可靠的核心网络节点，承载战略决策、资源调度等全局性功能；各生产基地则通过模块化网络架构实现本地化敏捷部署，既能满足产线柔性调整的需求，也可通过标准化接口与总部系统无缝对接。同时，需预留足够的网络带宽与算力资源，为未来接入智能设备、构建数字孪生系统等创新应用提供扩展空间。

（2）规模以上生产制造企业需聚焦核心业务与渐进式

升级。

中型企业的网络化建设应围绕主营业务场景展开，优先解决制约生产效率提升的关键瓶颈。战略规划上，需明确网络建设与业务目标的对应关系，避免盲目追求大而全的部署方案。例如，针对多品种小批量的生产特点，可重点优化车间级网络架构，提升设备互联互通能力，支撑快速换线与工艺参数调整。技术路径选择需平衡实用性与前瞻性。在生产现场，采用有线与无线相结合的组网方式，在保障关键设备稳定通信的同时，为移动终端、临时检测设备提供灵活接入能力。对于跨厂区或跨部门的数据交互，可依托轻量化的云边协同架构，将实时性要求高的数据处理任务下沉至边缘节点，非核心业务数据则通过云端平台实现集约化管理。网络设备选型应注重标准化与兼容性，为后续功能扩展预留升级空间。

（3）小微生产制造企业可借力公共服务与轻量化部署。

小型企业的网络化建设需充分利用外部资源，通过低成本、易实施的解决方案实现快速起步。战略定位上，应聚焦特定生产环节的数字化改造，优先解决设备离线、信息孤岛等最紧迫问题。

2、数据采集能力建设

2.1、设备改造解决思路

卫星行业的生产设备涉及从核心部件制造到系统集成

的全链条，主要包括卫星总装设备、通信载荷生产设备、导航系统测试设备、地面站设备及卫星终端装配等多种场景。当前设备普遍存在着数据采集能力不足、通信接口封闭、智能化水平低的问题，即“哑设备”特征。针对此类设备，改造的核心思路是通过硬件加装、协议适配与软件接口开发，实现设备状态的实时感知、数据互联与生产流程的数字化重构。

（1）传感器加装与数据采集改造

“哑设备”改造的首要任务是赋予设备感知能力。例如，在卫星总装设备中，机械臂的关节运动、压力参数、定位精度等关键数据长期依赖人工记录。通过加装高精度振动传感器（如加速度计）和视觉定位传感器，可实时采集设备运行中的动态参数，并通过边缘计算模块进行初步处理。例如，某卫星总装线在机械臂末端加装激光位移传感器，实现了毫米级装配精度的实时监测，并通过 CAN 总线协议将数据传输至本地工控系统。对于卫星通信载荷生产设备，如波导焊接机，传统设备缺乏温度、压力等工艺参数的数字化输出能力。改造方案需在设备内部加装热电偶传感器和压力变送器，通过模拟量输入模块（如 PLC 的 AI 通道）将信号转换为数字量，并利用 Modbus TCP 协议实现与上位机的通信。

（2）PLC 数据通信与协议适配

在卫星导航系统测试设备中，老旧仪器（如频谱分析仪、信号发生器）多采用 GPIB 或 RS-232 接口，难以直接接入工

业互联网。解决方案是通过协议转换网关将传统接口转换为以太网通信。如将 RS-232 信号转换为 Modbus RTU 协议，再通过 OPC UA 服务器实现与 MES 系统的数据交互。对于更复杂的设备（如多轴转台），需在原有控制系统基础上加装开放式 PLC（如倍福 CX 系列），通过 EtherCAT 总线整合伺服电机、编码器等子系统的数据流，实现运动轨迹的实时监控与动态调整。

（3）软件接口开发与系统集成

对于具备基础通信能力但接口封闭的设备（如卫星地面站天线控制系统），需通过 Web Service 接口开发实现数据开放。如地面站的天线控制器采用专用通信协议，改造时在控制器上层部署中间件，通过 RESTful API 将设备状态（如方位角、俯仰角）封装为 JSON 格式数据，供云端平台调用。此外，针对卫星终端生产线中的老化测试设备，可通过 OPC UA 服务器构建统一数据模型，将不同品牌设备的参数（如电压、电流、射频功率）映射到标准化标签体系，实现跨平台数据集成。在通信协议适配方面，采用 MQTT 协议对 PLC 数据进行轻量化封装，通过 4G DTU 模块将数据上传至私有云平台，解决了传统 SCADA 系统无法支持移动端访问的问题。

2.2、数据管理解决思路

在卫星制造生产过程中，设备的联网方式需根据设备类

型、功能需求及场景特点选择差异化的连接技术，以实现高效协同与数据互通。不同类型设备在互联互通中采用的典型网络连接方式及其技术逻辑如下：

(1) 高精度加工设备

数控机床、精密焊接机等需要实时同步控制的设备，通常采用工业以太网或时间敏感网络（TSN）。这类协议通过硬实时传输保障指令的确定性，如在卫星推进器加工中，TSN 网络可协调多轴联动设备的微米级动作同步，避免因通信延迟导致的加工误差。同时，工业以太网支持 Modbus TCP、PROFINET 等协议，实现设备与制造执行系统的数据集成，确保工艺参数实时反馈与调整。

(2) 移动化生产单元

AGV 小车、移动机械臂等动态设备需依赖 5G 专网或 Wi-Fi 6。5G 的低时延和高可靠性可支持 AGV 的路径规划与避障决策，如 5G 切片技术为 AGV 分配独立带宽，避免与其他设备竞争信道资源。而对于室内固定区域的移动设备（如机械臂），Wi-Fi 6 通过 OFDMA 和多用户 MIMO 技术，实现多设备并行通信，满足高密度接入需求。

(3) 分布式传感器网络

环境监测传感器（如温湿度、振动传感器）通常部署在分散区域，需采用 LPWAN（如 LoRa、NB-IoT）或卫星物联网回传。在卫星热真空测试环节，部署于舱内的传感器通过

LoRa 将数据汇聚至边缘网关，再通过卫星链路回传至地面数据中心。这种混合组网模式既解决了地下车间信号覆盖难题，又通过卫星实现了跨地域数据同步。

（4）高带宽测试设备

卫星载荷测试设备（如射频信号分析仪、光学标定系统）需传输 TB 级数据，通常采用光纤直连或毫米波无线传输。例如，在卫星通信载荷测试中，光纤提供 10Gbps 以上的带宽，确保原始信号的无损采集；而在移动测试场景，毫米波通过定向波束实现短距离高速传输，避免布线限制。

（5）供应链协同设备

对于跨地域的供应链设备（如外协加工中心、模块化装配单元），可通过软件定义广域网（SD-WAN）或卫星互联网实现协同。

3、信息系统能力建设

3.1、信息化系统建设

（1）企业资源计划系统（ERP）

ERP 作为卫星企业的核心管理系统，需统筹卫星研发、生产、供应链、财务等全要素资源。其核心功能在于打通卫星型号研制与批产环节的资源调度壁垒，实现跨部门、跨项目的协同规划。例如，卫星制造涉及长周期物料采购（如抗辐射芯片、特种材料）及多级供应商协同，ERP 需具备动态调整采购计划的能力，同时与 PLM 系统共享卫星结构设计

数据，确保物料清单（BOM）的精准对齐。卫星企业建设时需重点关注多项目管理能力，既要支持单颗定制化卫星的精细化核算，也要适应星座组网等大规模批产模式的资源集约化配置，同时需嵌入航天行业特有的合规性模块（如出口管制、国际空间法适配），确保供应链的合规性。

（2）产品生命周期管理系统（PLM）

PLM 系统是卫星企业技术创新的核心载体，需贯穿卫星设计、仿真、测试、在轨维护直至退役的全生命周期管理。其功能需覆盖三维模型协同设计、多学科仿真数据融合（如热控、结构力学、电磁兼容性）、版本控制及变更追溯。针对卫星行业高复杂度、多迭代的设计特点，PLM 需支持模块化设计复用，例如将成熟卫星平台的核心组件（如推进系统、载荷接口）标准化入库，加速新型号开发。建设过程中需强化数据完整性管理，尤其是卫星在轨运行数据的反向反馈（如遥测参数、故障日志），需与地面测控系统集成，形成“设计-验证-优化”闭环，同时需满足航天级数据安全标准，防范设计图纸、核心算法等敏感信息的泄露风险。

（3）制造执行系统（MES）

MES 在卫星制造环节承担生产执行与过程控制的双重职能，需实现从单机生产（如星载计算机）、分系统装配到整星集成测试的全流程数字化管控。其核心功能包括工艺指令下发（如精密焊接参数传递）、质量数据实时采集（如振

动试验结果记录)以及异常事件响应。由于卫星制造具有“多品种、小批量、高精度”的特点, MES 需支持柔性化生产排程, 例如通过动态优先级调整应对发射窗口变更导致的紧急插单。建设时需注重与自动化设备的深度集成, 如通过工业协议(如 OPC UA)连接高精度数控机床、真空环模试验设备, 确保工艺参数的无损传递与执行追溯, 同时需构建适应航天特殊工艺的质检规则库(如宇航级元器件筛选标准), 避免人工干预导致的批次性质量偏差。

(4) 监控与数据采集系统 (SCADA)

在卫星制造业中, SCADA 系统主要承担生产过程的实时监控与数据采集, 能够远程控制生产设备, 实现自动化操作。它通过实时监测设备状态并发出报警信号, 帮助快速诊断故障并减少停机时间。此外, SCADA 系统可与高精度传感器配合, 对生产过程中的质量数据进行动态监控与调整, 确保产品质量。它还能记录和分析历史数据, 提供趋势分析和故障预测, 从而优化生产流程, 提高生产效率。同时, SCADA 系统可以与 MES 等其他系统集成, 实现生产资源的高效管理和调度, 为卫星制造提供全面的生产管理支持。

(5) 试验数据管理系统 (TDM)

TDM 是卫星企业实现试验数据全生命周期管理的核心工具, 其功能聚焦于多源异构数据的采集、存储、结构化分析与跨阶段追溯。在卫星研发与测试场景中, TDM 需整合地

面试验、环境模拟、在轨遥测等不同环节产生的数据，支持从原始传感器数据到结构化分析结果的自动转换，并建立数据版本管理与关联关系图谱，确保设计参数、仿真模型与实测结果的可回溯性。针对卫星高可靠性的要求，TDM 需嵌入航天行业特有的数据校验规则，例如对热真空试验数据的完整性校验、对振动试验曲线的合规性比对等。系统还需提供数据权限分级控制能力，满足涉密试验数据的隔离存储与访问审计需求。卫星企业建设 TDM 时，需重点关注试验数据与设计工具链（如 CAD/CAE）的深度集成，实现试验结果对设计迭代的实时反馈；同时需构建适应航天标准的元数据管理体系，定义统一的数据标签、采样频率及存储格式，解决多学科试验数据的语义对齐问题。

（6）仓储管理系统（WMS）

WMS 在卫星行业需兼顾精密器件管理与复杂供应链协同需求。其核心功能包括宇航级元器件批次追溯、抗辐照材料存储环境监控、多级供应商物料齐套性校验等。由于卫星零部件具有高价值、长周期采购、定制化比例高等特点，WMS 需支持从原材料入库到整星交付的全流程精细化管理，例如通过 RFID 或二维码实现单件级追踪，记录器件从供应商出厂到装配上星的全生命周期状态。针对卫星制造中频繁的设计变更，WMS 需与 PLM 系统动态同步物料清单（BOM），自动触发库存调整指令。在建设层面，卫星企业需强化 WMS

与洁净车间环境控制系统的联动，例如根据温湿度传感器数据自动调整敏感元器件的存储区位；同时需设计适应航天行业特殊物流场景的功能模块，如危险品（如推进剂）的隔离仓储管理、卫星整星转运的路径规划与安全校验。

3.2、企业信息化建设发展思路

大型骨干生产制造企业作为产业链主导者，其信息化建设需以全域数据贯通和生态协同为核心目标。在基础设施层面，应构建天地一体化的混合云架构，将高敏感度的设计数据、测控指令部署于私有云，而用户服务、供应链协同等模块采用公有云，通过微服务架构实现跨平台资源弹性调度。系统整合需突破传统烟囱式架构，建立覆盖“研发-生产-在轨服务”的数字主线，例如通过 PLM 与 MES 的深度集成，实现卫星三维模型参数直接驱动装配工艺规程的自动生成，缩短型号迭代周期。

规模以上生产制造企业通常专注于卫星平台研制、载荷制造等细分领域，信息化建设需以提升核心业务效率为优先级。基础设施可采用“核心系统私有化+边缘节点云化”的混合部署模式，例如将 PLM、MES 等生产系统保留本地部署以确保数据响应速度，而协同办公、客户服务等非核心模块迁移至行业公有云。系统选型应避免追求大而全，重点强化 ERP 与 MES 的纵向集成能力，通过生产计划与物料需求的动态匹配，解决多型号并行研制导致的齐套率低下问题；同

时需打通 PLM 与试验数据管理系统，建立设计参数与实测结果的自动反馈机制，加速产品可靠性验证。

小微生产制造企业多聚焦单机部件生产或区域化应用服务，信息化建设需遵循“最小可行产品”原则，以快速形成基础数字化能力为目标。基础设施可直接采用公有云服务，优先部署 SaaS 化协同工具实现业务流程线上化，例如通过低代码平台搭建轻量级信息系统模块，满足工单派发、进度跟踪等基本需求；利用云端 PLM 工具管理设计图纸版本，避免因人员流动导致的技术资产流失。系统集成可依托行业平台提供的标准化 API，将自身生产数据（如元器件质检记录）自动同步至客户的质量管理系统，降低数据对接成本。

4、信息能力建设

在卫星行业推进“智改数转网联”的进程中，信息能力建设是保障技术落地与业务可持续的核心支撑。卫星系统具有高复杂性、广域覆盖性和多层级交互性，其安全风险不仅涉及传统工业场景中的设备与控制环节，更需应对空天地一体化网络架构下的新型威胁。下面主要从设备安全、控制安全、网络安全、应用安全及数据安全五大维度出发，企业需构建覆盖全生命周期、全要素协同的立体化防护体系。

4.1 设备安全方面

设备安全是卫星制造企业“智改数转网联”实施过程中的基础保障。企业应确保各类生产设备、工控设备以及网络

设备等具有可靠的安全防护机制。在物理层面，设备应具备防尘、防水、防雷击等能力，以适应复杂的生产环境，防止因物理损坏导致的安全风险。同时，设备的硬件设计应考虑安全芯片的嵌入，用于实现设备的身份认证、数据加密等功能，防止设备被非法篡改或仿冒。在设备的软件层面，应加强固件的安全性。企业应建立严格的固件开发和更新流程，确保固件代码的完整性、保密性和可用性。固件应具备防止缓冲区溢出、SQL注入等常见安全漏洞的能力，并且在固件更新过程中，应采用安全的传输通道和加密的更新包，防止更新过程被恶意篡改或中断。此外，企业还应定期对设备进行安全评估和漏洞扫描，及时发现并修复潜在的安全问题。

4.2 控制安全

控制安全主要涉及卫星制造过程中的控制系统，如 PLC、SCADA 等。这些控制系统负责对生产流程进行精确的控制和监测，一旦遭受攻击，可能导致生产中断、产品质量下降甚至设备损坏等严重后果。企业应加强对控制系统的访问控制，采用多因素认证机制，确保只有授权的人员能够对控制系统进行操作和配置修改。同时，对控制系统的操作权限进行精细化管理，根据人员的职责和工作需求，分配最小化的权限，防止因权限过大导致的安全风险。在控制逻辑方面，应确保控制程序的完整性和正确性，采用代码审查、静态分析等手段，发现并消除控制逻辑中的安全隐患。此外，还应

建立控制系统的监控和审计机制，实时监测控制系统的运行状态，及时发现异常操作和潜在的安全威胁，并对操作行为进行记录，以便事后追溯和分析。

4.3 网络安全

在卫星行业，部分企业由于涉及特殊涉密问题，需要建立统一的高性能计算平台和海量数据存储空间，实现计算资源的统一调配，同时遵循分级保护和等级保护的标准规范建立安全保密防护体系，从物理安全、网络安全、主机安全、数据安全等方面识别风险并采取有效措施，同时需要发布相匹配的安全策略、管理制度和操作规程构成的信息安全管理体系建设文件，确保网络安全。

企业还应构建多层次的网络安全防护体系，包括网络边界防护、内部网络分段、入侵检测与防御等。在网络边界，应部署防火墙、入侵检测系统和入侵防御系统等设备，对进出网络的流量进行严格过滤和监测，防止外部攻击者入侵企业内部网络，同时阻止内部敏感信息的非法外泄。在企业内部网络，应采用网络分段技术，将不同功能和安全等级的区域进行隔离，如生产网络、办公网络、研发网络等。这样可以限制安全事件的影响范围，防止攻击者在企业内部网络中横向移动和扩散。同时，企业应加强对网络设备的管理和配置，采用强密码策略、定期更新设备固件和安全补丁等措施，提高网络设备自身的安全性。此外，还应建立网络安全监测

和应急响应机制，实时监测网络中的异常流量和安全事件，及时采取措施进行响应和处理，降低安全事件造成的损失。

4.4 应用安全

企业在使用各类工业软件、管理软件等应用程序过程中，应加强应用程序的安全开发生命周期管理，确保在开发过程中遵循安全编码规范，采用代码审查、静态分析、动态测试等手段，发现并修复安全漏洞。在应用程序上线前，应进行全面的安全测试，包括功能测试、性能测试和安全漏洞扫描等，确保应用程序的安全性和可靠性。在应用程序运行过程中，应建立安全监控和日志审计机制，实时监测应用程序的运行状态，及时发现异常行为和安全威胁，并对操作行为进行记录，以便进行问题追溯和安全分析。此外，企业还应定期对应用程序进行更新和维护，及时修复已知的安全漏洞和问题，提高应用程序的安全性。

4.5 数据安全

企业应建立完善的数据安全管理体系，从数据的产生、采集、传输、存储、处理到销毁的全生命周期进行安全防护。在数据产生和采集阶段，应确保数据的准确性和完整性，防止数据被篡改或伪造。在数据传输过程中，应采用加密技术对数据进行保护，防止数据在传输过程中被窃取或篡改。在数据存储方面，应根据数据的重要性和敏感性，选择合适的存储介质和存储方式，并采取数据备份、容灾等措施，防止

数据丢失和损坏。在数据处理和分析阶段，应确保数据的合法使用，遵守相关的法律法规和隐私政策，防止数据泄露和滥用。此外，企业还应建立数据安全审计和监控机制，对数据的访问和操作行为进行记录和分析，及时发现和防范数据安全风险。

四、环节与场景

江苏省卫星行业“智改数转网联”典型场景的选择，主要基于政策导向与标准对标、行业现状与需求匹配、推进行业示范工程三方面依据。具体来说，一是依据《江苏省制造业智改数转网联参考指引》和《智能制造典型场景参考指引（2024版）》的典型场景划分，聚焦“智能化、数字化、网络化”三大方向，重点选择符合国家智能制造典型场景建设、能够提升江苏省卫星产业链韧性和协同效率的场景。二是基于行业调研结果，结合江苏省卫星产业发展现状及企业发展痛点需求，优先选择能够支撑企业“智改数转网联”发展的典型场景。三是优先选择具备规模化推广潜力、具有行业示范效应的场景等。

基于以上依据，筛选出卫星行业具有代表性的7个关键环节中的11个典型场景，具体环节场景及适用企业类型如下表所示。

表 1-卫星行业“智改数转网联”关键环节、场景及适用企业类型

环节	场景	适用的企业业务类型
产品设计	产品数字化研发设计	卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭、地面设备
	虚拟验证与中试	卫星整星、火箭、卫星平台、卫星载荷、地面设备
工艺设计	工艺数字化设计	卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭制造、地面设备
生产作业	产线柔性配置	卫星整星、火箭制造

	人机协同作业	卫星整星、卫星平台、火箭制造
	数智精益管理	卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭制造、地面设备
质量管控	在线智能检测	卫星整星、卫星平台、卫星载荷、地面设备
仓储物流	智能仓储	卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭、地面设备
	精准配送	卫星整星、火箭制造、地面设备
设备管理	设备运行监控	卫星整星、火箭制造、地面设备
信息基础设施	工业信息安全管控	卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭制造、地面设备

1、产品设计环节

1.1、产品数字化研发设计

（1）存在的问题

对于从事卫星整星及分系统设计的企业，在开展产品研发设计过程中，面临的问题主要集中体现在技术管理和数据应用等层面。高精度、长寿命、低成本的设计要求与快速迭代的市场需求形成矛盾，传统航天级元器件普遍认证周期长、成本高的特点，而传统保守的设计观念必然导致冗余设计较多，过度追求局部高指标影响了整体经济性与研制周期，与商业卫星追求低成本快速部署的运营模式存在显著冲突。同时，企业普遍面临多学科耦合带来的技术协调难题，各分系统间的接口兼容性、电磁兼容性、热控匹配性等问题频繁出现，特别是在面向大规模星座组网需求时，如何在有限载荷空间内平衡功能密度与可靠性指标，成为制约研发效率的关

键瓶颈。此外，设计模式仍存在经验主导倾向，数据标准化程度低、跨阶段交互率不足，导致设计迭代效率受限，制造测试数据与模型协同性较差，三维数字化转型过程中仍面临数据关联性不足、模型复杂度管理困难等问题，难以支撑全生命周期优化。

（2）改造场景建议

在卫星研发过程中，企业面临的核心挑战可以归结为如何平衡技术可靠性与经济效率之间的矛盾，以及如何解决跨领域协作和数据整合的难题。首先，企业应重新梳理设计逻辑，改变“单一指标优先”的思维，建立灵活性更强的开发框架，通过动态平衡工具综合评估性能、成本和周期，例如在材料选择时既考虑耐高温性也兼顾加工难度，确保整体方案的经济可行性。其次，打破专业壁垒，构建高效的协同管理模式，通过建立跨部门协作平台，将机械结构、电路设计、温控系统等环节纳入统一规划框架。面对星座组网等批量任务，可预先制定通用化平台标准，对不同功能单元进行模块化预留，既能保障单星可靠性，又能适应大规模生产的快速适配需求。最后，推动全流程数字化改造，提升数据应用价值，通过搭建统一的数据中台，将卫星研发、测试、生产等环节的信息实时打通，确保每个改动都能自动同步到关联环节。同时引入智能分析工具对历史数据进行深度挖掘，能够自动识别设计缺陷的共性规律，为工程师提供优化建议，逐

步将个人经验转化为可共享的系统知识。

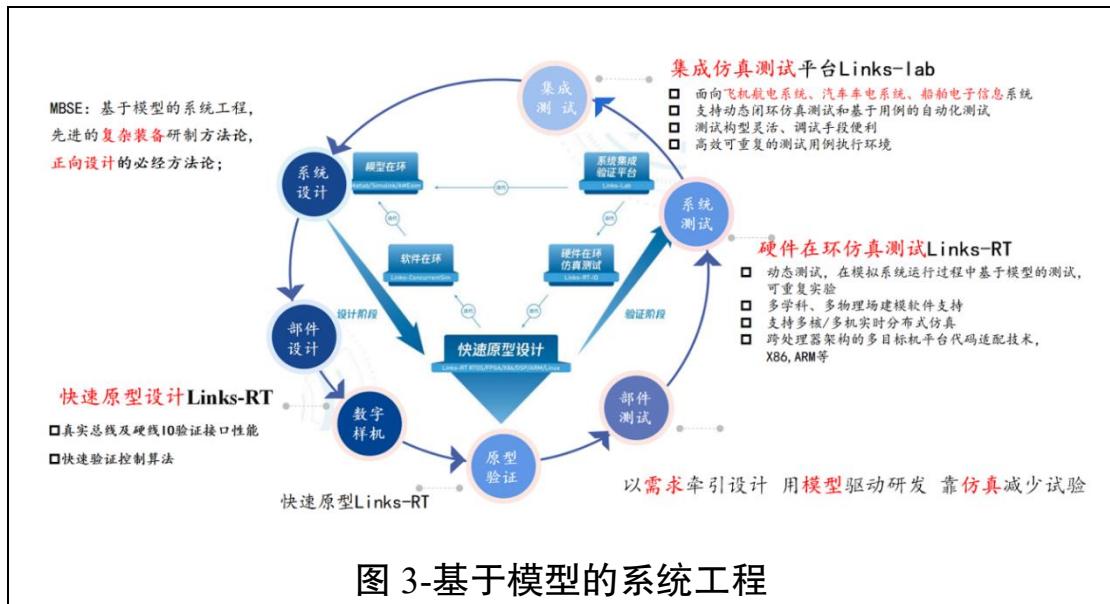
（3）解决方案案例

某企业以“设计-工艺-制造”数据闭环为核心，构建了 MBSE 数字化协同研发平台，将工艺与制造环节与设计过程进行融合，通过系统仿真与测试提升了，大幅提升卫星研发周期。对于从事卫星总体设计的企业可参考借鉴。

数字化协同研发平台

该企业通过数字化协同平台构建全三维设计环境，提前识别结构件加工冲突。例如，某平板构型卫星采用数字孪生技术模拟装配路径，发现姿轨控系统公差适配性问题，优化 20% 工序，减少试制迭代。工艺部门介入设计阶段，利用离线仿真预判接口耦合风险，将生产周期缩短 50%。制造端引入模块化装配单元与六轴机器人，关键部件装配效率提升 60%，公差控制达微米级，多型号切换周期缩短 13.5%。

依托 MBSE 与虚拟测试技术，30% 物理样机验证被仿真替代，某通信卫星功能验证周期从 3 周压缩至 5 天。在轨维护端集成故障预测模型，通过实时数据比对提前预警推进剂泄漏风险，降低排查成本 40%。生产线试验数据 100% 追溯，形成“问题反馈-工艺迭代”闭环，支撑动态优化。



1.2、虚拟验证与中试

(1) 存在的问题

在卫星产品研制过程中，虚拟验证环节虽已取得显著技术突破，但仍面临多维度实际问题。首先，虚拟测试环境的建模精度与真实物理环境存在差异性问题尚未完全解决，特别是动力学仿真软件对复杂空间环境的多场耦合效应模拟仍存在局限性，导致部分测试结果的可信度需通过实物试验反复校验。其次，多源异构系统的协同仿真存在时序同步难题，例如星务模拟软件与部件仿真软件的数据交互时延难以实现微秒级精准匹配，可能掩盖实际工况下的软硬件协同异常。再者，虚拟验证平台对超大规模卫星星座的组网仿真能力不足，现有技术在处理数万节点的高动态拓扑变化时面临计算资源瓶颈，难以满足低轨卫星星座的全生命周期验证需求。

（2）改造场景建议

解决卫星虚拟验证中的关键问题，需要从多个层面协同推进。首要任务是提升虚拟模型的真实度，通过综合各种物理因素（如温度、电磁、引力等）的动态影响，建立更贴近实际环境的数字模型，并利用实际测试数据持续校准优化，减少仿真误差。针对不同系统间的协同难题，需开发通用接口和同步机制，确保各模块（如控制系统、传感器等）在虚拟环境中能精准匹配时间节奏和数据传输，避免隐藏潜在问题。面对大规模卫星组网仿真的挑战，应优化计算资源分配，采用智能任务分割和混合仿真模式，在保证验证质量的前提下降低计算压力。技术体系方面，要加快自主可控工具研发，突破核心模块依赖，建立统一建模标准和数据规范，促进不同单位间的协作与资源共享。同时，需构建灵活可扩展的验证平台架构，使新功能模块能快速集成测试，适应卫星技术快速迭代的需求。在验证方法上，加强智能技术的应用，开发能自动生成测试场景、模拟各类异常状况的智能系统，提升验证覆盖率和效率。

（3）解决方案案例

某卫星研制单位针对地外天体探测任务的高可靠性需求，开发了云端协同验证平台。该场景案例对于从事火箭制造、卫星总体设计的单位具有参考价值。

云端协同验证技术

在采样返回器项目中，团队采用智能参数优化算法重构探测器结构设计，通过多目标仿真将载荷舱减重 15% 的同时提升抗冲击性能。虚拟验证阶段引入超算集群，完成探测器着陆阶段多种极端工况的动态耦合模拟，精准定位导航敏感器在沙尘干扰下的信号衰减问题。中试环节创新搭建模块化柔性测试系统，支持探测器自主管理功能的全链路验证，利用数字线程技术实现机械臂采样动作与能源系统的实时协同优化。

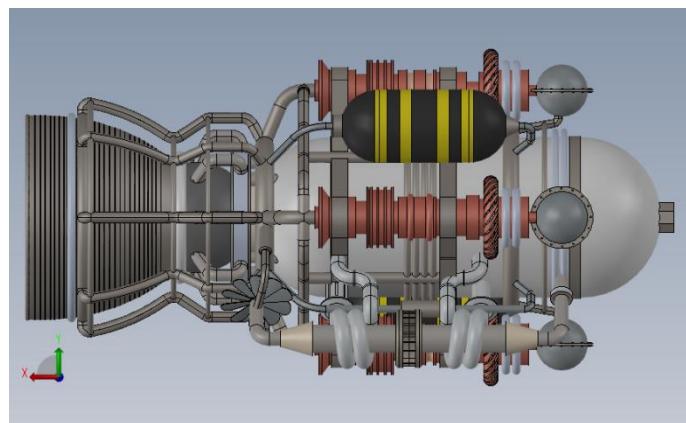


图 4-航天发动机仿真模型

该方案通过云端协同研发模式，使多地团队共享仿真数据池，设计迭代效率提升显著，研制成本降低，关键分系统测试一次通过率达 99%，为深空探测任务提供了高置信度技术保障。

某企业采用半实物仿真实验室进行快速虚实交互的运载火箭半实物仿真测试。

半实物仿真测试

半实物仿真测试主要涵盖四个关键步骤：首先，提供火箭关键

控制部位（如仿真发动机、三轴惯导测试转台）的简化原理模型及仿真实物构建能力；其次，通过建立与运载火箭系统实际设备相匹配的设备原理模型和接口模型，将前者用于模拟参试设备的功能特性，后者规范设备间数据交互协议，并将两类模型统一存储在模型库中；接着，根据特定测试任务需求，从模型库中按需调用相关设备原理模型，并依据被测系统的物理拓扑结构进行模型连接与集成，形成完整的待测系统数学模型；最后，通过配置数学模型中的设备参数、设定仿真步长，实现仿真系统与真实参试设备在同步时序下的实时数据交互，最终完成半实物仿真测试体系的闭环运行。



图 5-闭路仿真与半实物仿真试验

飞行控制模拟仿真的实施显著提升了控制系统的测试效率与安全性，有效降低实际试飞风险及成本，为复杂场景下的策略优化和故障预判提供了可靠技术支撑。

2、工艺设计环节

2.1、工艺数字化设计

（1）存在的问题

传统卫星行业在工艺规划与产线设计中长期面临效率

低、成本高的挑战，亟需通过数字化手段实现系统性重构。卫星产品涉及结构、电子、热控等多学科交叉技术，工艺设计需兼顾多种复杂要求并满足高可靠性标准。然而，现有验证手段主要依赖物理样机试制，难以覆盖复杂工况，仿真精度不足，常常导致返工频繁、验证周期长、资源投入大。例如在某通信卫星的高增益相控阵天线法兰加工中，仅依赖二维工艺图进行钻孔定位与铣边，却未同步刀路仿真，导致关键法兰面偏移约 1.8mm，返工两次后才达到装配公差。

其次，当前工艺设计仍以二维图纸和经验驱动为主，缺乏与三维工艺模型和设计数据的协同，导致关键接口信息重复、跨专业版本冲突频繁，设计迭代效率受限。同时，工艺文件表达不清，制造端易产生误解或操作失误，尤其在高精度制造场景下，设计与执行间的信息断层严重影响产品质量与生产效率。例如地球观测卫星功率放大器模块 PCB 装配时，二维版图与三维机箱模型未联动，支撑柱与导线槽出现冲突，只能在 CNC 程序中手动补偿并调整夹具，试制阶段调试时间被拉长了两天。

（2）改造场景建议

面对传统制造工艺在复杂构件生产中的效率瓶颈与质量波动问题，需构建“仿真驱动、数据贯通”的智能工艺体系，通过工艺机理建模与流程模拟技术深度融合，突破经验依赖型试错模式。基于行业工艺包与历史数据构建工艺知识

库，将材料特性、设备参数及环境变量等核心要素融入设计前端，利用热力耦合分析、残余应力预测等仿真工具，对铸造、焊接等关键工序进行多物理场虚拟验证，提前识别变形、裂纹等缺陷风险。比如通过工艺参数智能匹配与全局优化，实现燃料舱体薄壁结构的一次成型、姿控支架的应力自适应拓扑构型等工艺突破，使复杂构件的设计自由度与制造可靠性同步跃升。

部署工艺知识库驱动的智能决策系统，将千条工艺规则编码为可执行逻辑链，结合在线监测模块实时采集微观数据，通过数字孪生体与仿真结果动态比对，实现缺陷的毫秒级闭环修正。打通工艺设计与制造执行的双向数据链路，在虚拟空间中完成多工序协同推演与工艺验证，动态优化设备负载与生产节拍，显著降低工序等待与返工损耗。

（3）解决方案案例

某单位基于智能 CAPP 与三维仿真平台，构建材料、工装与知识一体化工艺库，实现环锻件关键工序快速建模与仿真，前置参数优化与验证，替代传统试错模式，缩短周期、提升精度与材料利用率。该场景对于从事卫星整星及分系统零部件、火箭、地面设备等产品研制生产的单位均具有参考价值。

锻件智能工艺设计实践

在锻件新产品研制过程中，构建了面向工艺快速设计与验证的

一体化智能系统，实现了材料、工艺知识与制造资源的深度融合。依托智能 CAPP 系统，集成锻件材料数据库、工装库及典型工艺知识库，支持下料、制坯、碾环、热处理等工序的知识驱动设计，加速多工步工艺方案的自动生成与优化。

系统同步搭建了三维工艺数字仿真平台，与 CAPP 深度集成，建立了覆盖全流程的环锻件三维仿真模型与参数库。在新产品研制初期，通过虚拟环境开展轧制成形参数模拟、结果分析及技术验证，有效替代传统“试错法”，提升设计前期的精准性与前瞻性。整体工艺设计周期由原先的 3-4 个月缩短至 1 个月。

依托模型驱动的参数精控，材料利用率提升超过 25%。工艺知识的结构化沉淀也显著提升了人员培养效率，技术人员成长周期由 5 年以上压缩至约 2 年，实现从“人带人”向“知识赋能”的转变。

该实践已在多型环锻件产品设计中应用验证，不仅提升了工艺设计效率和质量，还为智能化、柔性化制造体系的构建提供了关键支撑，为高性能关键基础件的快速研制提供了新路径。

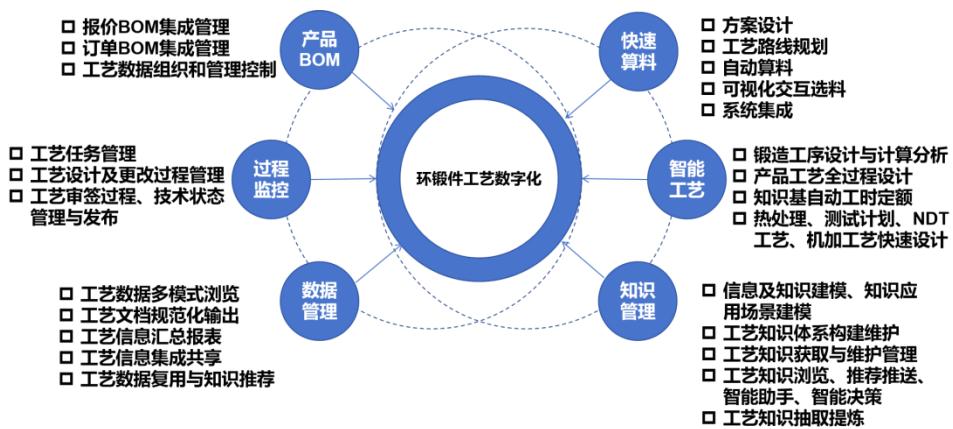


图 6-环锻件工艺数字化

某单位依托数字化工艺平台，集成设计与工艺资源，实

现关键工序建模与仿真分析，前置优化装配路径与工艺方案，替代传统验证模式，缩短了开发周期，提升了设计效率与制造一致性。

数字化工艺设计与仿真实践

某制造企业围绕产品研制与生产流程优化，建设了集数据管理、工艺设计、虚拟仿真于一体的数字化工艺设计与仿真平台，实现设计、制造与工艺的高度协同。

平台集成产品设计数据、工艺方案、工装资源等，支持工艺分析、制造可行性评估、工装工具选型、仿真验证等业务，推动标准工艺在线生成与版本管理。在新产品开发中，借助三维建模与仿真，提前发现工艺冲突、装配干涉等问题，优化工艺流程，缩短同步工程周期约 30%，提升工艺规划效率 20%。

系统集成多类仿真工具，覆盖关键工序的路径规划与节拍分析，并支持工艺文档自动生成。配套部署高性能计算资源、传感器采集设备、三维扫描及 VR/AR 装配验证设备，增强工程人员的可视化感知与仿真效率。

项目实施后，90%以上工艺验证可在虚拟环境中完成，减少实物试制成本；工艺质量和一致性显著提升，文档管理效率提高 70% 以上，整体验证周期缩短 1-2 周，为企业构建柔性、高效、可持续的制造体系提供了支撑。

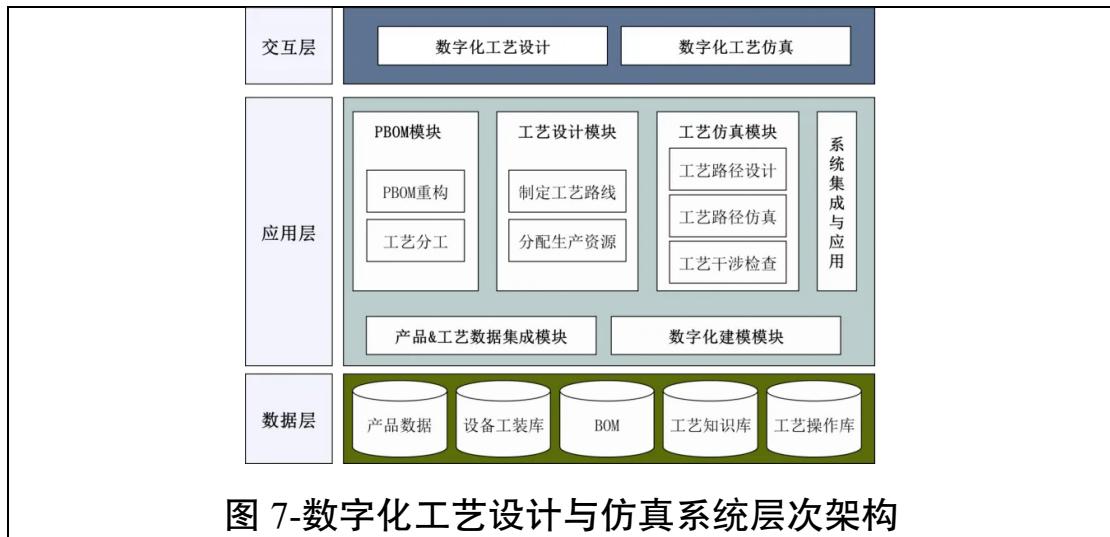


图 7-数字化工艺设计与仿真系统层次架构

3、生产作业环节

3.1、产线柔性配置

(1) 存在的问题

卫星制造长期以来以单件小批量生产为主，工艺文件和生产流程高度定制化，例如，传统航天器总装研制过程中，每个型号单独一套工艺文件，完成编制，审批通过后发放 MES 系统进行现场执行与签署，这种模式的工艺编制工作量较大，对于型号数量多、工艺路线相近的批产模式并不适合，效率低下，难以适应批量化生产需求。且不同卫星型号在结构、尺寸、重量等方面差异较大，产线在设计阶段缺乏对生产环节的柔性化考虑，导致生产过程中需要频繁调整工艺，生产线难以灵活调整，难以快速切换不同型号或任务需求。另外传统生产管理模式以高技能管理人员为主，信息化软件为辅，缺乏统一的数字化平台，难以实现设计、工艺和生产的一体化协同，难以应对复杂的生产任务。

（2）改造场景建议

针对个性化需求响应慢、产线换线时间长等问题，离散制造企业可以通过部署智能制造装备与系统，应用产线模块化重构、柔性物流运输等技术，实现产线的快速调整和按需配置。具体包含模块化设计与快速重构、柔性物流与智能调度、柔性工装设计等途径。将生产工艺拆解为标准化模块，通过模块化设计实现产线的快速重组，以适应不同订单和产品需求；引入 AGV 群组和立体仓储系统，实现物料的精准配送和自动化管理。通过智能调度系统，根据订单、工况和库存变化实时调整物流路径，确保物料供应的及时性和准确性；在柔性生产单元中引入可快速更换工装，减少工件装夹时间，提升设备利用率。

（3）解决方案案例

某企业建设了机械加工自动化生产线，以实现毛坯进入、成品流出的一次性生产，改变传统分工序生产流转复杂、周期长、质量管控不足的现状，同时能够满足不同型号的混型柔性化生产。该场景案例对于具有卫星零部件规模化生产的企业具有一定的参考价值。

柔性化机加生产线

某企业新建机加生产线由 2 台卧式加工中心、1 台卧式五轴加工中心、1 台换装自动机器人、打标机、清洗机和缓存货位组成。

机器人自动完成工件在托盘库与机床之间的搬运及装卸工作，

实现机器人、机床、零点定位系统等的协同作业；柔性生产线内配置清洗吹干单元、激光打标装置，实现零件加工、清洗吹干及零件打标全部在线内自动化运行；柔性线内配置视觉识别装置，对人工装夹工件的位置和轮廓进行自动防错；柔性生产线在机床内配置机内对刀仪，实现加工前后对刀具进行自动检测，自动修正刀具参数，自动断刀报警；柔性生产线在机床内配置机内工件检测系统，用于加工前零件自动找正；系统具备自动安排加工顺序以及支持人工调整（手动调整加工任务优先顺序、手动分配机床）等调度功能，能灵活调整加工任务顺序，以便关重任务的紧急插单；实时监控系统的运行状态，若发生异常情况能及时提醒操作者做出响应；系统可与 MES 系统集成，一方面接收 MES 下发的加工任务，另一方面向 MES 反馈加工进度。



图 8-柔性化机加生产线

某企业建设了具有柔性配置功能的天轨装配产线，产线工位具备柔性化设计，能够通过快速更换、安装随行工装和

工位吊具实现不同型号产品的混线生产，以及能够根据生产节拍进行调整，重新规划柔性工位组合，实现资源重组。该场景案例对于从事火箭舱段批量化制造的企业具有一定的参考价值。

天轨柔性装配生产线

某企业根据场景特点，结合痛点问题内容，分别从产线工位柔性化设计、预设装配网络图、系统间集成三方面开展产线柔性配置。

1) 利用工位柔性化设计，适应产线灵活配置和调整。

生产线采用模块化设计、多工位布局的方式进行设计，各工位之间可通过物流设备（AGV、天轨等）进行物流传输，实现物料的快速转运。每个工位基于柔性化进行设计，同时配置多种工装工具，能够通过快速更换、安装随行工装和工位吊具实现不同型号产品的制造。

2) 预设多种装配网络图方案，适应不同订单、工况组合。

生产线上工艺遵循标准化设计原则，完成装配网络图的预设及利用。工艺网络图是指依据 MBOM 产品结构搭建的以工艺册为标准结构的树形图，纵向上体现了产品——部件——工艺册的上下层级关系，横向上体现了同部件下工艺册间的串并行关系及先后执行顺序。通过对不同型号产品进行多种工艺预设，可以适应不同订单、工况组合条件下的按需配置。

3) 利用系统集成，提供柔性化生产数据支撑。

信息系统集成方面，天轨装配产线与办公网 MOM 系统集成，

接收计划、工艺（含工艺附图文件）等信息，经产线管控系统排程后能够直观体现生产任务的进度和计划，为是否进行产品切换提供数据支撑。

通过天轨装配产线的柔性配置使生产线能够适应不同的产品需求，并具备灵活性、高效性和可扩展性特点，有效提高生产效率、降低成本、减少资源浪费，最终实现缩短产品交付周期，提升公司快速响应供方需求的能力。

3.2、人机协同作业

（1）存在的问题

在卫星生产装配环节，由于卫星结构复杂、零部件众多且精度要求极高，例如，卫星的太阳翼和推进系统管路等关键零部件的装配，采用传统人工生产模式面临着诸多严峻挑战，其中工人劳动强度大、产品质量一致性差以及生产过程存在安全风险等问题尤为突出。装配过程高度依赖人工作业，工作量极大。工人需要反复进行拆装和吊装操作，这不仅极大地增加了劳动强度，还导致工作效率低下。由于装配过程的复杂性和操作的重复性，人为误差难以避免，进而导致装配精度难以控制，产品质量一致性差，严重影响了卫星的整体性能和可靠性。其次，部分零部件的装配如质量较重尺寸较大的舱板需要借助吊具、翻转支架车等机械式工艺装备，这些装备的使用不仅增加了装配的复杂性，还带来了额外的操作风险。例如，电缆擦伤、定位销套卡滞等问题时有发生，

这些问题不仅进一步影响了装配效率和质量，还可能对工人的人身安全构成威胁，增加了生产过程的安全风险。

（2）改造场景建议

卫星生产装配过程需要去除非增值环节，引入自动化与智能化技术，构建人机协同作业单元，明确人机分工，让机器人承担重复性、高精度任务，工人负责复杂问题解决，实现优势互补，提高生产效率和生产质量。具体而言，可以采用工业机器人、移动机器人、协作机器人以及定制的自动化设备，结合人机交互设备和新型传感器，打造高效的人机协同作业环境。通过智能化装备应用实现生产、加工、装配以及自动上下料等环节的高效作业，减少人工操作的繁琐性与误差。应用人工智能、自主规划、风险感知和安全防护等先进技术，提升智能化设备与人员的协作能力。通过人机协同作业，不仅可以减少操作失误率，还能显著提高产品合格率和生产质量，从而推动卫星生产装配向高效、智能化方向发展。

（3）解决方案案例

某企业在卫星装配生产过程中，在通用工业机器人的基础上进行了柔性化、智能化的研究开发，利用机器人末端受力感知、柔性力控等技术，使其能够适应复杂多变的卫星装配工况。该场景对于从事整星、火箭整机及大型零部件生产企业具有一定的参考价值。

基于柔顺力控的机器人装配技术

机器人装配技术的应用主要体现在视觉定位与自动抓取、柔顺装配与力控、数据交互与协作装配等多个方面。某企业利用机器人实现舱板等大重量设备的自动化识别与装配。

机器人与人之间通过力感应的方式进行交互，共同完成装配任务，将机器人载重量大、运行稳定精度高的特点，与人观察、操作的灵活性相结合，适配于卫星总装集成中复杂多变的装配需求。

机器人通过视觉定位与自动抓取技术，能够快速识别舱板或大重量设备的位姿，以进行自动抓取和装配。柔顺装配与力控技术则通过力传感器数据的采集、处理及力反馈控制，实现高精度的柔性对接和柔顺装配，精度优于负载的 5%，满足多销钉定位装配任务，并在磕碰等异常情况下提供安全防护。



图 9-机器人装配技术在卫星装配中的应用

通过以太网通信接口实现机器人装配系统与生产线管控系统之间的实时数据交换，确保装配任务的精确执行和机器人位姿信息的实时上传。离线仿真与装配序列生成技术则通过离线仿真功能，根据三维模型构建装配场景，对装配轨迹进行仿真，并生成机器人

可执行的装配序列，提高装配的预规划能力和效率。

某企业采用智能化自动装调系统对空间光学遥感载荷光机装调方法进行改造。该场景对从事卫星载荷研制的企业具有一定的参考价值。

空间光学遥感载荷光机智能化装调系统

智能化自动装调系统由机械臂、五轴数字控制台、数字干涉仪等设备组成。机械臂具有高精度的运动控制能力，能够实现对光机结构的自动化操作和精确调整。五轴数字控制台用于控制机械臂的运动轨迹和姿态，实现对光机结构的多自由度调整。数字干涉仪则用于实时监测和测量光机系统的光学性能，提供高精度的反馈数据。

在装调过程中，智能化自动装调系统按照预设的装调程序自动运行。机械臂根据控制台的指令，将光机结构的各个部件按照设计要求进行安装和定位。数字干涉仪实时监测光机系统的光学性能，将测量数据反馈给控制系统。控制系统根据反馈数据，自动调整机械臂和五维调整台的运动轨迹和姿态。

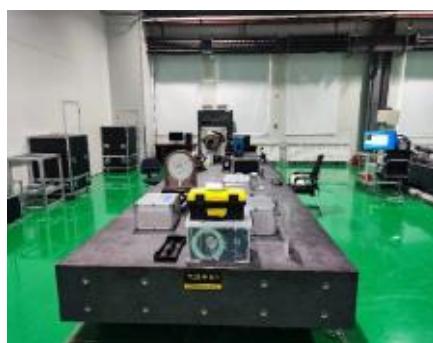


图 10-空间光学遥感载荷光机智能化装调系统

相比传统方法装调时间减少了约 30%，装调精度和质量也得到了显著提高。

3.3、数智精益管理

（1）存在的问题

大部分卫星企业还未真正引入数智精益管理理念，造成了企业运营中的资源浪费、生产效率低下、质量问题频发、成本控制困难等问题。例如，各部门之间的数据无法实时共享和交互导致设计变更无法及时传递到生产环节，造成生产计划调整频繁及生产进度难以把控，进而造成生产过程中物料库存积压、运输等待等浪费，占用了大量资金和存储空间，资源浪费严重。另外传统生产缺乏实时数据支撑，难以实现生产过程的动态优化。例如，传统卫星制造模式下，各部门之间的信息传递不畅，存在协同制造困难，信息共享不及时的情况，同时由于缺乏对生产线实时数据的掌握，使得管理层难以对生产进度和质量进行有效监控，造成管理效率低下的问题。

（2）改造场景建议

针对卫星企业生产现场管理、成本质量管理、供应链管理等业务活动中存在的资源利用率不高、管理效率低等问题，可以通过融合精益管理理念进行改进。在生产现场管理方面，引入全面生产维护和数字化台账管理系统，优化设备管理流程，实现数据实时统计与追溯；同时，通过物联网技术实现

设备联网与数据共享，结合智能排程算法提升设备利用率和生产计划的可执行性。此外，应用六西格玛和 6S 等精益方法，优化生产流程，减少浪费，提升现场管理效率。在成本质量管理方面，利用 MES 系统实现质量数据的自动采集和实时监控，结合大数据分析快速定位质量问题，同时采用多媒体影像记录关键生产环节，便于追溯和分析。通过价值流分析优化工艺流程，减少浪费，结合智能决策系统实现成本预测与优化，提升质量与成本管理水平。在物料配送方面，通过 WMS 和 RFID 技术实现库存的数字化管理，确保实物流与信息流同步；引入 AGV 小车和自动化立体仓储系统，实现物料的自动化配送，减少人工操作，提高准时性。

（3）解决方案案例

某企业从公司运营角度出发，开展基于数据驱动的精益化生产管理提升，覆盖了公司从计划到产出的全生产过程，聚焦现场执行的优化改善，过程中利用生产流程优化、定置管理、标准化管理、看板拉动等精益工具及方法，实现了公司生产过程信息流拉通，进而实现了生产的降本增效和质量提升。该场景对于从事卫星载荷、地面设备产品及其零部件生产企业具有一定的参考价值。

基于数据驱动的精益化生产管理

某企业精益化生产管理的实施是基于数字化制造运营管理系
统、物流调度系统、智能仓储系统、产线管控系统等多个信息化系

统建设及改造，覆盖资源、工位、设备、计划、库存、物流等多个业务场景，实现基于数据驱动的人、机、料等精确管控。



图 11-精益生产体系架构图

1) 资源线上管理，实现实时定位及追溯。

公司通过建设 MOM 系统，实现了人员、设备、工装等生产资源的线上管理，涵盖资源台账、变更、保养、下账等业务，降低了管理成本，支持资源的实时定位和历史追溯。

2) 实现产线均衡生产，提升计划排程准确性。

公司通过产线规划与建设，建立了基于柔性精益装配单元的生产布局，实现了产线按节拍连续流动和混线均衡生产，同时完成了工艺标准化、生产节拍测定及平衡等工作。此外，公司利用传感技术和集成方式接入现场仪器和设备，实时获取设备状态和数据，提高自动化采集率，实现设备状态监控。通过集成生产任务、工艺规程、工位产能、物料齐套和人员等信息，实现了基于有限产能的排

程，并能够直观展示排程结果和进度信息。

3) 实施精益化库存管理，实现配送“定点、定时、定量”。公司通过建设智能仓储系统（如立体库、智能货架）和 AGV 调度系统，结合条码技术，实现了库存的快速出入库管理、精确定位以及自动化无人配送，优化物流活动，追求无中断、无等待的增值活动流，不断消除浪费。

某企业在产品装配过程中引入精益工位操作台，实现了现场生产管理的精益化。

精益生产管理

某企业面向生产现场管理等业务活动，针对资源利用率不高、管理效率低等问题，设置了精益工位操作台，实现基于数据的人、机、料、法、环等生产要素精准、高效管理。通过优化布局和工具摆放，减少了不必要的动作和时间浪费，提升了工作效率，同时标准化操作和工具配置减少人为失误，提高产品一致性和质量。

精益工位由机械系统、控制系统和专用工具组成，具备以下功能特点：其设计满足产品装配与测试需求，支持快速换型，物料盒可快速更换，控制系统软件能根据产品工艺快速调整；工位实现生产无纸化，电子作业指导书可展示结构化工艺文件（含工序、检验项、工艺数据、物料信息等）、图片和视频，并支持编辑；生产过程中，设备和人员相关数据可自动采集；具备作业引导及防呆防错功能，可根据工艺信息主动推送物料，并在取用物料时进行防错处理。



图 12-车间精益工位操作台

4、质量管控环节

4.1、在线智能检测

（1）存在的问题

卫星制造过程中，传统检测手段受限于技术投入与管理水平，难以满足精密装配、焊接、电路集成等环节对高精度、实时性的需求。许多企业仍依赖人工目视检查或低端设备，无法有效识别微小缺陷或复杂结构异常，检测效率低、精准性差。高端检测设备和智能系统投入成本高，中小企业因资金压力常简化流程，甚至跳过关键检测环节；部分大型企业虽具备条件，却因管理惰性和系统割裂，存在“有设备、无优化”的问题，未能发挥检测数据的价值。例如某企业在卫星燃料贮箱焊缝的检测中，采用低端内窥镜抽检镍基合金管路焊缝，因精度不足导致漏检，使得真空测试时推进剂泄漏。

同时，不完善的流程管理导致检测环节与设计、制造等部门协同不足，信息孤岛现象突出，质量问题往往在后期才被发现，增加了返工风险与成本。面对多物理场耦合、极端工况下的检测需求，如电磁兼容性测试、结构变形监测等，传统接触式、抽检式方法难以实现全流程动态感知与风险预警，影响整星系统集成阶段的可靠性评估与产品一致性控制。例如某企业设计高精度网状反射面时，结构部门采用有限元分析预测形变阈值，但检测部门仍沿用接触式千分尺在常温下抽检，未与热真空环境下的电磁辐射测试数据联动，导致天线在整星热试验时暴露出展开形变，引发电磁波束指向偏差。

（2）改造场景建议

针对传统卫星检测检测手段落后、检测效率不高、检测质量一致性差等问题，引入基于机器视觉与深度学习的三维缺陷识别技术，结合高分辨率工业相机与多光谱成像系统，构建非接触式在线检测体系。另一方面，采用数字孪生技术搭建虚拟样机与物理产线的双向映射，在星载计算机板卡装配、推进系统管路组接等复杂工序中实现工艺偏差的预测性感知，利用多源异构数据融合提升检测维度的连续性。这类技术方案充分契合卫星产品多品种小批量、空间环境适配性严苛的行业特性，能够有效应对柔性制造场景下的隐形缺陷捕获挑战。通过机器视觉三维缺陷识别等在线检测技术能够

显著提升检测效率，提高产品质量一致性。

（3）解决方案案例

某卫星核心部件制造企业在推进系统精密焊接与装配环节部署了智能检测系统，解决了传统人工检测效率低、缺陷漏检率高等问题。该场景对于从事卫星平台、火箭制造企业具有一定的参考价值。

卫星推进系统关键部件智能检测

该企业在生产线上引入高精度工业视觉传感器与多模态数据融合算法，针对推进器燃料管路焊缝质量进行实时在线检测。通过搭建三维点云重建模型，系统自动扫描管路焊缝表面形貌，结合深度学习算法比对历史合格样本库，精准识别微裂纹、气孔等微观缺陷，并同步关联焊接工艺参数波动趋势，实现缺陷成因的初步归因分析。检测结果通过边缘计算终端实时反馈至操作界面，指导工艺人员快速调整焊接参数，避免批次性质量问题的发生。

在卫星热控多层复合材料涂覆工序中，企业集成红外热成像与光谱分析技术，构建非接触式涂层均匀性动态监测体系。产线部署的智能检测装置在真空模拟环境下，实时采集涂层固化过程的热辐射信号与光谱反射数据，通过 AI 模型解析涂层厚度分布、界面结合强度等关键指标，自动标记局部过薄或气泡聚集区域。系统将检测数据与工艺规程阈值自动匹配，触发分拣机械臂对不达标部件进行隔离，同时生成可视化质量图谱供工艺优化参考。

该方案使企业突破人工抽检的时空限制，显著提升涂层工艺稳

定性，适应了卫星多品种、高复杂度部件的快速换型检测需求。

5、仓储物流环节

5.1、智能仓储

（1）存在的问题

卫星行业是典型的离散制造业，物料种类繁多，如各种结构件、电子元器件、电源系统材料、热控材料、密封件等，管理复杂。目前大部分卫星企业的物料仍然通过传统货架进行存储，在空间利用、操作效率、库存管理、物料追踪、灵活性、安全性和系统集成等方面存在问题。传统货架的高度限制和固定布局导致空间利用率低，难以满足大规模存储需求；依赖人工存取和搬运的方式效率低下，容易出错，且难以适应物料种类繁多的场景。此外，传统货架式存储缺乏自动化和信息化手段，库存管理不精准，物料追踪困难，难以实现与生产系统的高效协同。同时，其灵活性不足，难以快速响应生产需求的变化。这些问题不仅影响仓储效率和成本，还制约了生产流程的优化和整体运营效率的提升。

（2）改造场景建议

采用自动化立体仓库、无人搬运车、智能拣选机器人等设备，提高仓库空间利用率及仓储作业效率，根据货物的存取频率和特性，对仓库进行区域划分，确保高频物品存放在易于存取的位置，提高库存周转率和土地利用率。

通过部署先进的仓库管理系统，实现库存数据的实时更新和精准管理，将 WMS 与 MES、ERP 系统进行集成，实时同步库存状态与生产需求，根据实际生产作业计划实现半自动或全自动出入库管理。系统能够自动记录货物的入库、出库和库存变动情况，确保库存数据的准确性。同时利用 WMS 的货位管理功能，根据货物的种类、大小、重量等因素自动分配货位，优化货物存储和查找效率。通过条形码扫描或 RFID 标签实现货物的快速识别和跟踪，减少人工操作误差。

（3）解决方案案例

某企业采用垂直存储，充分利用了仓库高度，增加了存储量，减少了物料存储的占地面积；堆垛机自动完成存取，减少人工操作，提升了准确率及存取效率。该场景对于从事卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭制造、地面设备等产品及其零部件规模化生产的企业均具有一定的参考价值。

堆垛机式立体仓储系统

某企业针对金属原材料、电子元器件、零件、半成品、辅料及公司其他物资，分类别建设了料箱库、托盘库、垂直升降库等自动化立体堆垛机式的仓储库区。

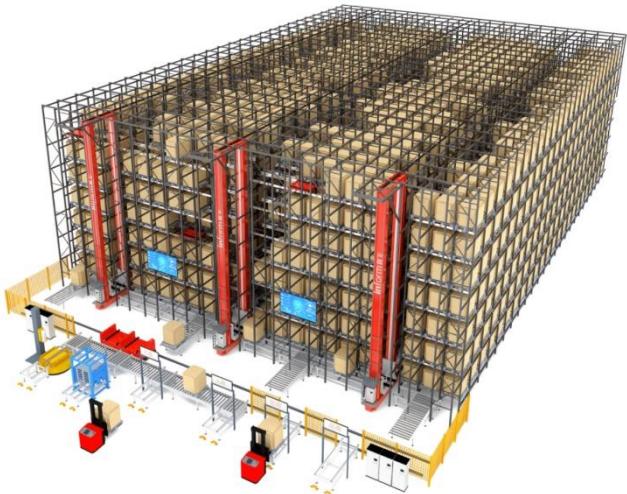


图 13-堆垛机式立体仓储系统三维图

依托 WMS 系统实现了自动仓储 WCS 和手工库区射频扫描数据信息的集成，实现了 100%出入库单据在系统生成、打印、登账，物料配送、制造单位完工、成品库及成品销售出库在系统进行全过程管理。依据 ERP 计划总牵引，按需在 WMS 系统进行出库配送，在生产现场进行 MES 系统收货确认，部分生产线内部实现了线边物料到操作工位的 AGV 自动配送。

某企业建设了穿梭车式立体仓储系统，本场景通过高层货架的应用，实现了以最小的存储场地获得了最大的存储能力的目标，当前库存存储能力较之前提升 30%。

穿梭车式立体仓储系统

某企业建设的智能仓储系统主要由立体库管理系统、货架系统、穿梭车系统、提升机系统及移载系统等组成。通过立体库管理系统接收到的出入库指令触发穿梭车系统、提升机系统以及移载系统到指定位置执行指定的操作，减少了人力操作，通过多系统之间

配合，提高了库房的管理能力。



图 14-穿梭车式立体库现场图

穿梭车系统是以托盘为处理对象的自动化仓储系统的重要组成部分，系统主要设备间互为备份，任意一台穿梭车发生故障时，其他穿梭车自动进行替代，维持系统继续运行，保证物料的正常存取与管理。穿梭车系统由箱式四向智能穿梭车、穿梭车控制系统及充电装置组成。

仓储管理系统根据物流主营业务流程将盘点管理、库存管理、入库管理、出库管理等主要环节进行精准管控，条码识别、网络通信、信息系统应用等信息化技术及先进的管理方法，实现入库、出库、盘库、齐套管理的信息自动抓取、自动识别以及信息化管理功能。

通过应用条码识别技术实现物料全周期管理、条码采集、柔性化暂存工位管理、过程看板监控等功能，实现对小批量、多品种标准物料的自动出、入库和高效分拣。

5.2、精准配送

（1）存在的问题

卫星制造中物料种类繁多，包含光学镜头、传感器、太阳能电池板、蓄电池组、电源管理模块、推进器、燃料管路、阀门、电路板、芯片等等核心零部件，其物流管理复杂，厂内物流配送是关键环节，其效率和精准度直接影响生产连续性和整体效率。然而，许多企业仍依赖人工转运或叉车，导致物料配送不及时、不精准，进而引发生产线停工待料，增加生产周期，降低设备利用率和生产效率。传统人工调度难以应对复杂物流需求，物资齐套领用模式节奏慢、效率低，难以适应快节奏生产，物流转运自动化率低，缺乏跟踪定位，准确性、及时性不足，资源冲突等待时间长，无法满足生产节拍。此外，部分卫星零部件重量大、尺寸大，人工搬运劳动强度大、效率低且存在安全隐患。

（2）改造场景建议

为解决卫星行业中物料配送不及时和不精准的问题，企业可以部署自动化物流设备如 AGV 小车和自动化货架，实现物料自动化配送，减少人工操作误差。此外，利用大数据和人工智能技术优化物流路径规划，减少配送时间和拥堵，并加强物流调度系统与生产管理系统的深度集成，确保信息实时共享，使物流配送能够根据生产动态进行灵活调整。通过实施精益物流管理，优化物流流程，消除浪费，同时建立

实时监控与反馈机制，及时发现并解决问题，从而显著提升厂内物流配送的效率和精准度，优化生产流程，增强企业整体运营效率和竞争力。

（3）解决方案案例

某企业建设了基于任务的物料精准配送系统，立体库出库完成后，产线管控系统下达指令给 AGV 调度系统，AGV 调度系统接收到产线管控系统分配的任务后，利用调度叉车 AGV 完成物料的转载。该场景对于从事卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭制造、地面设备等产品及其零部件规模化生产的企业均具有一定的参考价值。

物料精准配送系统

某企业通过 AGV 调度系统中现场任务分配、AGV 小车分配、自动路径规划等功能，集成了产线管控系统、立体库系统，实现了从领用到配送的转变，减少了人力运送，缩短了物料从立体库到生产工位时间，提高了现场装配效率。

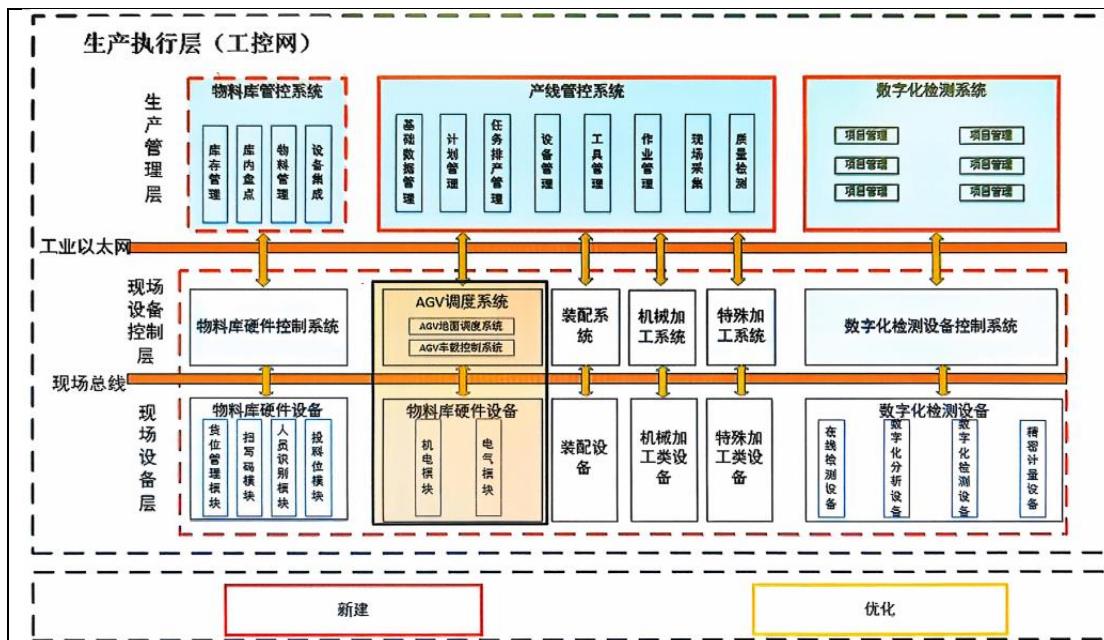


图 15-AGV 总体描述数据流

AGV 调度系统由任务管理、车辆管理、路径规划、交通管理、状态监控、日志管理这几部分功能组成，能够实施监控车体、充电站等设备运行状态；调度系统能够与工厂生产管控系统集成，具有接收管控系统等其他系统生产任务命令（包括任务起止点、产品种类及执行时间等）并自动生成任务清单的功能，以及上传相应任务的 AGV 运行状态的功能（物流位置、车体运行状态、转运产品信息任务完成情况等），可将转运任务状态实时反馈至上层产线管控系统；同时调度系统具有动态显示功能，提供现场地图展示、报警展示、交通管理展示、任务状态等内容。有异常情况报警，用户可通过急停按钮立即停止转运系统工作。

某企业建设了 AGV 物流系统，通过自动化导航、智能调度和精确控制，实现了物料的高效、准确运输。

AGV 配送系统

AGV 系统采用激光导航、视觉导航或磁条导航等技术，实现车辆的自动导引和路径规划，确保物料能够准确、高效的运输到指定位置。分拣机器人则根据生产计划自动完成物料分拣，确保生产线的物料供应及时准确。



图 16-AGV 自动搬运车

AGV 系统设计灵活，能够适应不同的工作环境和需求，支持多车型、多任务的协同作业。AGV 系统与企业的 MES、WMS 系统集成，实现物流数据的实时同步和监控，确保物料运输的透明化和可追溯性。

控制系统通过 WMS 对 AGV 车辆进行统一调度和管理，优化路径规划，减少等待时间和空驶率。通信系统通过无线通信技术进行实时数据交换，确保车辆能够及时响应调度指令。传感器系统配备红外传感器与激光传感器，用于障碍物检测和精确定位。

6、设备管理环节

6.1、设备运行监控

（1）存在的问题

卫星制造行业的生产设备大多分散在不同工房，如热控集成生产线，制造资源分布分散，导致无法实时掌握各设备的运行状态。生产调度人员只能通过到现场查看或事后追溯等方式了解设备资源的运行情况，这种监控方式效率低下，难以及时进行资源调配和计划调整。同时，关键生产设备的利用率统计方式较为粗放，通常仅将设备开机空载运行时间记录为工作时间，导致设备实际使用率统计不准确、不透明，无法真实反映实际生产能力。此外，在大部分卫星企业中，部分设备缺乏数据采集端口，人机互动差，自身运行状态难以管控，各工序集群孤岛式分布，作业人员、设备信息、物料、生产任务等高度离散，信息流通不畅，形成数据孤岛，影响问题追溯和生产进度管控。

生产作业过程不透明，生产调度人员难以实时了解生产进度，缺乏生产过程可视化工具，无法实时显示各产线的计划任务、生产执行、设备运行等状况，导致生产异常响应周期长，项目工时准确率低。

（2）改造场景建议

通过在设备上安装传感器和智能网关，实时采集设备运行的关键数据，如电流、电压、温度、振动频率等，并将这

些数据传输至云端或本地服务器。结合 MES 和 SCADA 系统，实现设备数据的实时交互与共享，打破信息孤岛，使生产调度人员能够实时掌握设备的运行状态，及时进行资源调配和计划调整。借助物联网技术搭建设备监控平台，实现对设备的远程监控和可视化管理。通过设备监控平台，生产管理人员可以在电脑或移动设备上实时查看设备的运行数据、生产进度、故障报警等信息，及时发现并处理异常情况，能够有效增强生产管理的透明度，便于进行质量问题追溯，提高产品质量。

（3）解决方案案例

某企业通过建立智能设备集控平台、对现有设备进行网络化和数字化改造、对采集的实时数据和历史数据进行统计分析，实现对生产关键设备的在线运行监控。该场景对于从事卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭制造、地面设备等产品及其零部件规模化生产的企业均具有一定的参考价值。

智能设备集控平台

某企业建设了智能设备集控平台，实现了关键生产设备在线运行监测与分析。通过对设备的数字化、网络化改造，并接入统一的管控系统，实现生产设备的信息实时采集、感知，实现生产过程数据的采集、集中处理和分析利用，实现公司科研生产过程中各关键设备的状态监控，动态掌握制造资源状态，进而实现生产能力均衡排查，质量过程控制，以关键生产设备在线运行监测与分析来提升

设备利用率、提升生产效率、提升生产过程质量控制水平，设备改造和在线监控涵盖机械加工、焊接技术、特种加工、表面工程、材料成型、装配技术、工艺检测、计量器具、环境试验等 300 余台套设备。实现各分厂设备使用率分析、各设备使用率分析、设备运行情况数量统计分析和分析等。

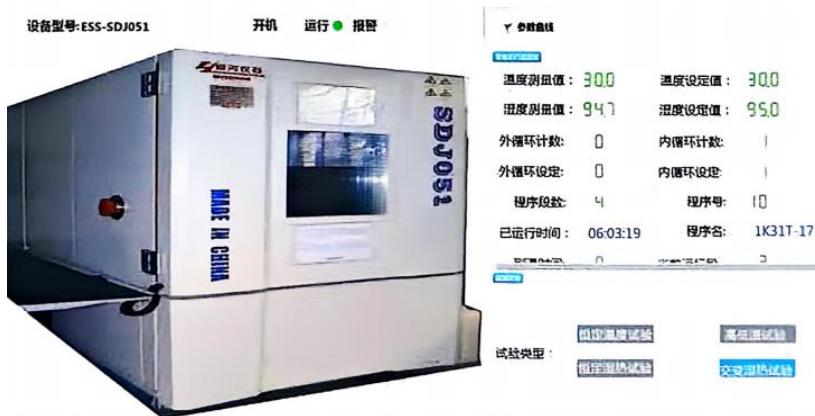


图 17-环境实验类设备管理

7、信息基础设施环节

7.1、工业信息安全管理

（1）存在的问题

卫星行业作为高度涉密且技术密集型的领域，相关企业面临着严格的保密要求和复杂的工业信息安全管理问题。目前，许多企业仍依赖传统的单机设备物理隔离方式进行安全管控，虽然在一定程度上保障了信息安全，但也存在诸多局限性。工业互联网的快速发展使工业系统复杂性和互联性增强，网络安全风险也日益多样化。部分企业传统工控系统因设计时未充分考虑安全防护，设备和控制系统普遍缺乏安

全功能，存在漏洞多且高危漏洞占比高的问题。随着工控系统走向开放互联，其封闭性被打破，信息安全隐患充分暴露。同时，随着工业互联网的网络架构和数据规模升级，传统架构难以满足数据互通需求，安全认证和访问控制缺失，数据在采集、传输、存储、使用等环节面临劫持、篡改、窃取和未授权访问等风险，攻击者也更容易通过网络渗透到生产控制系统，威胁其物理和功能安全。

（2）改造场景建议

为解决工业互联网生产制造过程中的信息安全问题，企业应实施工业互联网安全和数据分类分级管理，明确数据安全级别和保护要求，合理分配资源，重点保护关键数据。在此基础上，加强主机与终端安全防护，部署防病毒软件、应用白名单技术，并封闭不必要的外部接口；强化网络架构与边界安全，实施分区分域管理，部署工业防火墙等网络安全防护设备。同时，提升身份认证与访问控制能力，采用双因子认证，严格控制远程访问；增强数据安全防护，通过加密、分类分级等手段保护数据；建设数据安全风险监测和应急处置能力，应用安全态势感知技术和多层次纵深防御技术，实现全方位全流程的安全漏洞监测、风险防控和快速处置。通过这些措施，全面提升工业互联网的网络安全和数据安全防护水平，保障生产制造过程的安全与稳定。

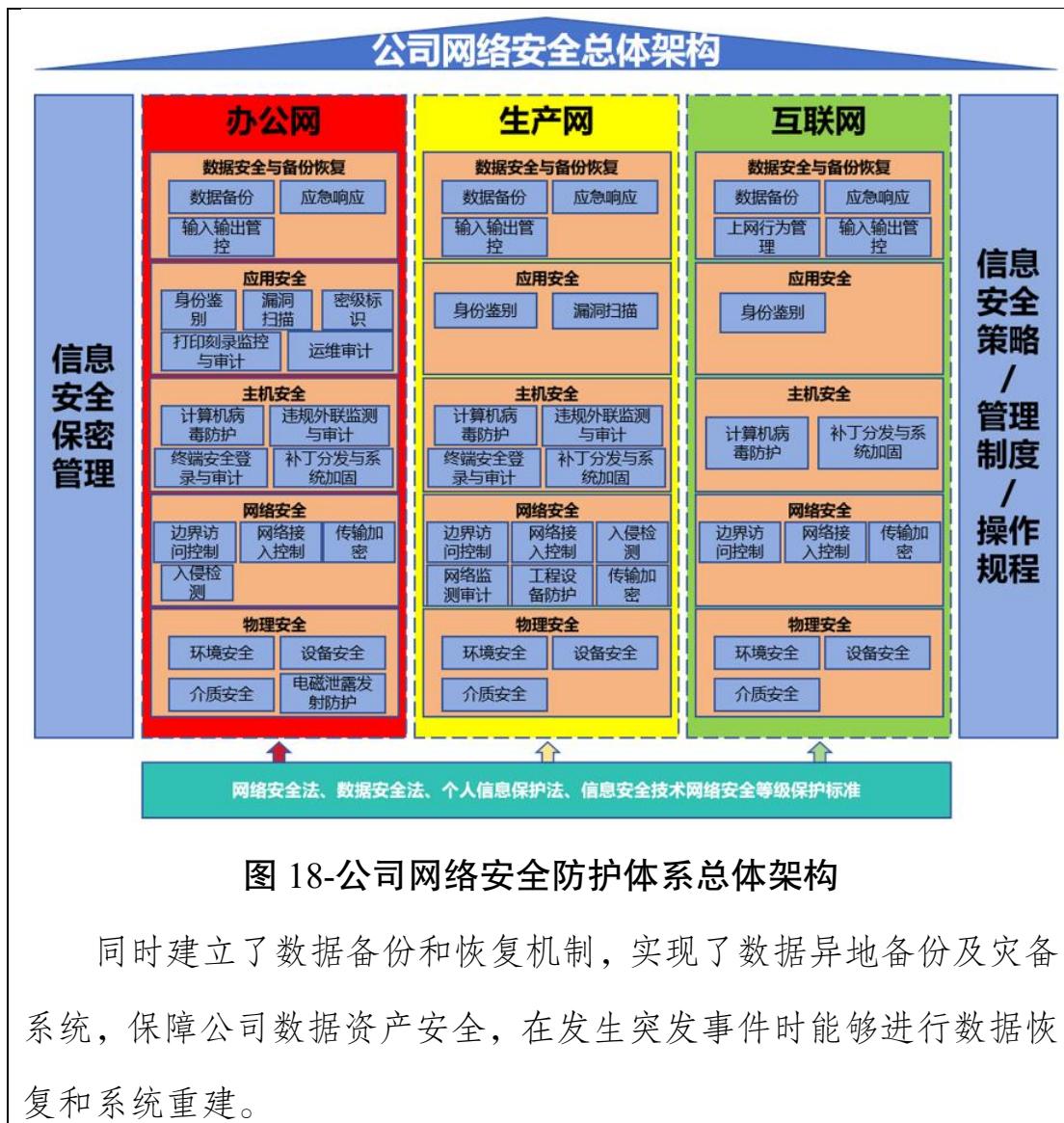
(3) 解决方案案例

某企业建立了较为完善的网络安全防护体系，主要包含网络安全、信息安全、数据安全等方面。该场景对于从事涉密业务的卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭制造、地面设备等产品研制生产企业具有一定的参考价值。

网络安全防护体系

公司在网络层面，部署防火墙和工控防火墙实现边界和区域间访问控制，部署入侵检测设备识别异常访问和攻击行为：在主机层面，用户终端和上位机部署终端安全登录与审计系统、防病毒系统、违规外联监测系统等；同时配备漏洞扫描和工控漏洞扫描系统，定期进行信息资产的安全评估，及时发现漏洞并修补。

信息安全管理涵盖安全策略、管理制度和操作规程三个层次，贯彻上级网络安全方针政策，明确各方责任，规范日常操作行为。公司信息系统建设遵循等级保护要求，定期开展风险评估和安全测评，获取信息系统审查合格证。生产网业务系统履行定级、备案程序，并定期通过安全测评，确保公司信息系统的网络安全防护体系有效运行。



五、路径与方法

1、实施路径

1.1、总体实施原则

一是坚持战略引领，统筹规划。企业应将“智改数转网联”提升至战略高度，深入分析自身在卫星行业中的定位、优势与劣势，结合市场趋势和国家政策导向，明确“智改数转网联”的长期发展方向和目标。制定全面且具有前瞻性的中长期发展规划，将“智改数转网联”贯穿于企业的研发、生产、运营、服务等各个环节，确保各项业务活动与战略目标相一致。同时，加强与政府相关部门的沟通与协调，积极争取政策支持和资源倾斜，将企业战略与区域发展战略相结合，实现协同发展。

二是坚持问题导向，系统推进。在实施“智改数转网联”过程中，深入开展调研与诊断，全面了解企业在技术水平、生产效率、管理能力、人才储备等方面存在的问题和短板，并制定系统性的解决方案，从技术创新、设备升级、流程优化、人才培养等多个维度入手，有序推进各项任务。建立有效的监督和评估机制，定期对方案的执行情况进行检查和评估，及时发现问题并进行调整，确保“智改数转网联”取得实效。

三是坚持业务融合，场景创新。卫星行业企业应打破内部各部门之间的壁垒，促进业务之间的深度融合，实现数据

共享和协同工作，积极拓展“智改数转网联”技术在不同环节的应用场景，加强产业链上下游的合作，开发创新性的解决方案，探索卫星技术与金融、旅游等非传统领域的融合模式，创造新的商业模式和盈利点。

四是坚持安全可控，风险防范。建立健全信息安全保障体系，采用先进的加密、认证、访问控制等技术手段，对卫星数据进行严格保护，防止数据泄露、被篡改或遭受恶意攻击。加强网络安全防护能力建设，定期对网络系统进行漏洞扫描和安全评估，及时发现并修复安全隐患。同时，建立完善的风险预警和应急处置机制，对可能面临的风险进行实时监测和评估，提前制定应对策略。

1.2、实施路径规划

卫星行业“智改数转网联”实施路径主要分成四个方面，如下图所示。

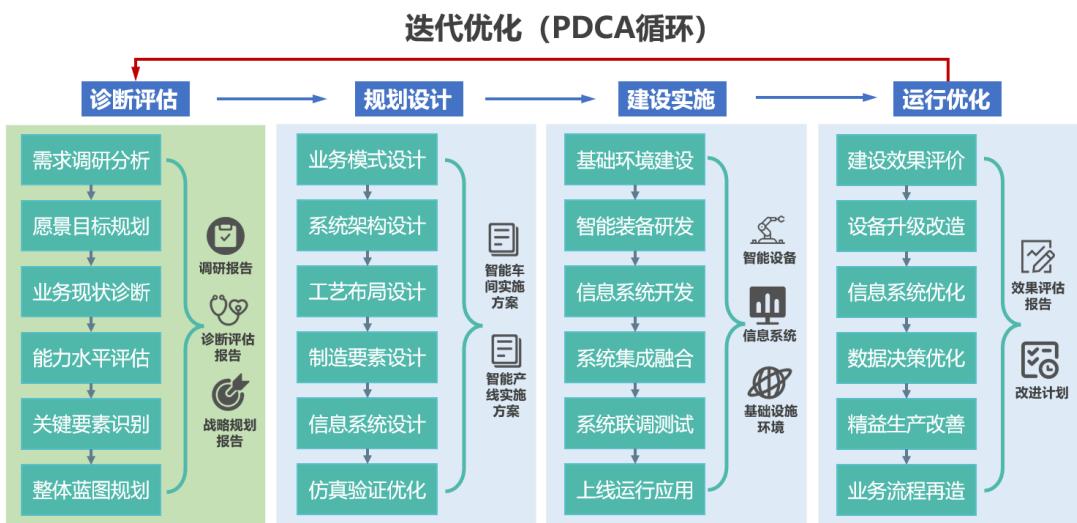


图 19-卫星企业“智改数转网联”实施路径图

（1）诊断评估

卫星企业在开展诊断咨询过程中，可依托专业咨询诊断机构，参照两化融合管理体系贯标、智能制造能力成熟度评估（CMMM）、数据管理能力成熟度评估（DMMM）、数字化转型成熟度评估等标准模型，通过科学、系统的诊断咨询，识别企业在研发、生产、销售、服务、模式创新等业务环节中的不足，形成诊断服务报告。企业可基于该报告开展中长期发展规划，并结合实际开展智能工厂/车间/产线等实际项目建设。同时，企业还需建立动态调整机制，根据实施过程中的反馈和变化，及时优化调整规划，确保“智改数转网联”的顺利推进。

需求调研分析：企业应通过多维度的数据采集和深入访谈，全面了解内外部需求，明确行业趋势、政策导向及市场竞争态势，确保调研结果具有代表性和前瞻性。其次，远景目标规划需基于调研结果，结合企业战略定位，制定清晰、可量化的目标，确保目标既具有挑战性又具备可行性，同时与行业发展趋势和国家政策相契合。

业务现状诊断：企业需对现有业务流程、技术架构、管理体系进行全面梳理，识别现有业务模式中的瓶颈和痛点，明确改进方向。

能力水平评估：则需从技术、管理、人才等多个维度出发，客观评估企业当前的数字化、智能化水平，找出与行业

领先企业的差距，为后续改进提供依据。

关键要素识别：是诊断咨询的核心环节，企业需从战略、技术、组织、数据等多个层面，识别出影响“智改数转网联”实施的关键要素，明确各要素之间的关联性和优先级，确保资源的高效配置。

整体蓝图规划：需在前述基础上，制定详细的实施路径和时间表，明确各阶段的目标、任务和资源配置，确保规划的可操作性和可持续性。

（2）系统规划设计

在规划设计阶段，企业需注重系统思维和全局视角，确保各环节之间的协同和衔接。同时充分考虑实施的可行性和可操作性，确保规划方案能够落地执行。通过科学、系统的规划设计，企业可以为“智改数转网联”的实施奠定坚实基础，提升整体竞争力和可持续发展能力。

业务模式设计：业务模式设计是实现智改数转的核心，企业需结合行业特性和自身战略，重新审视和优化现有业务模式，明确数字化转型后的业务逻辑和价值链，确保新模式能够适应智能化、网络化的发展趋势，并为企业带来可持续的竞争优势。

系统架构设计：企业需从总体架构、功能架构、网络架构等多个层次进行统筹规划。总体架构需明确系统的整体框架和各模块之间的关系，确保系统的一致性和可扩展性；功

能架构则需细化各模块的具体功能，确保其能够支持业务模式的实现；网络架构设计需注重安全性、稳定性和高效性，确保数据的高效传输和资源的优化配置。

工艺布局设计：是智能制造的重要环节，企业需结合生产流程和产品特性，对设备布局进行科学规划，确保生产线的流畅性和高效性。同时，需充分考虑人、机、料、法、环、测等制造要素的协同，优化资源配置，提升生产效率和质量稳定性。制造要素设计需从人员技能、设备能力、物料管理、工艺方法、环境控制和检测手段等多个维度进行系统规划，确保各要素之间的高效协同。

信息系统设计：是“智改数转网联”的技术支撑，企业需根据业务需求，合理选择和应用 MES、PLM、TCM、WMS 等系统，确保信息流的贯通和数据的集成。各系统之间需实现无缝对接，确保数据的实时性和准确性，为企业的决策提供可靠支持。同时，信息系统设计需注重用户体验和可操作性，确保系统的易用性和可维护性。

仿真验证优化：是规划设计阶段的关键环节，企业需通过数字化仿真技术，对产能、物流、瓶颈工艺、设备工艺流程等进行全面模拟和验证。通过仿真分析，识别潜在问题，优化生产流程和资源配置，确保设计方案的科学性和可行性。仿真验证优化需贯穿整个规划设计阶段，形成闭环反馈机制，为后续实施提供有力保障。

（3）建设实施

在建设实施阶段，企业需以系统化、协同化的思维推进各项工作，确保“智改数转网联”的高效落地。

基础设施建设:是实施的前提，企业需统筹规划水、电、气、网等基础资源，确保其稳定供应和高效配置。同时，需注重算力、存储和数据安全监控能力的建设，为智能化、网络化提供坚实的物理支撑。基础设施的设计和部署需充分考虑未来扩展性和兼容性，以适应技术升级和业务发展的需求。

智能装备研发:是“智改数转网联”的核心环节，企业需结合生产特点和业务需求，开发智能加工设备、人机协同装配设备、视觉检测设备等先进装备，提升生产效率和产品质量。在研发过程中，需注重装备的智能化、柔性化和可交互性，确保其能够适应多品种、小批量的生产模式，并实现与信息系统的无缝集成。同时，装备研发需遵循模块化和标准化原则，便于后续维护和升级。

信息系统开发:建设实施的技术支撑，企业需根据业务需求，开发 MOM、SCADA 等软件系统的功能及业务模块，确保其能够支持生产管理、设备监控、数据分析等核心业务。系统开发需注重功能的完备性和用户体验的优化，同时确保系统的开放性和可扩展性，以便与其他系统实现高效集成。此外，信息系统开发需遵循敏捷发展理念，通过迭代优化不断提升系统的性能和适用性。

系统集成融合：是实现数据贯通和业务协同的关键，企业需打破信息孤岛，实现多系统之间的数据共享和业务联动。在集成过程中，需注重数据标准的统一和接口的规范化，确保数据的高效流动和业务的顺畅协同。同时，需通过中间件、数据总线等技术手段，实现系统的松耦合和高内聚，提升系统的整体稳定性和可维护性。

系统联调测试：是确保系统功能和质量的重要环节，企业需通过模拟实际业务场景，对各系统进行全面的功能测试、性能测试和兼容性测试，识别并解决潜在问题。测试过程中需注重场景的覆盖性和问题的可追溯性，确保系统上线后的稳定运行。同时，需建立测试反馈机制，通过持续优化提升系统的可靠性和用户体验。

上线运行应用：企业需在运行初期，需加强监控和运维，及时发现并解决问题。同时，需通过培训和支持，提升员工对新系统的适应能力和操作水平，确保系统的高效应用。通过科学、系统的建设实施，企业可以全面推动“智改数转网联”的落地，提升生产效率和竞争力。

(4) 运行评价

运行评价阶段，企业需通过系统化的评估和优化，确保“智改数转网联”的持续改进和价值释放。通过定量与定性相结合的方式，围绕生产效率、成本控制、质量提升等核心指标，全面评估“智改数转网联”的实施效果，深入了解企

业运营过程中存在的问题，并提出改善意见，同时关注技术应用与业务目标的契合度，为后续设备升级改造、信息系统优化、数据决策优化、精益生产管理改善等提供依据。通过动态评估机制实现持续改进，形成“诊断-设计-实施-优化”的螺旋上升发展模式。

1.3、实施方法及建议

针对不同规模企业发展现状，其“智改数转网联”发展建议如下：

(1) 大型骨干生产制造企业应重点强化全链条协同创新能力。

大型企业应聚焦全价值链的智能化升级，重点突破研发、生产、服务的协同壁垒。建议构建“研产供销服”一体化管理平台，打通从卫星设计仿真到应用服务的全业务链条，推动系统深度集成。在工艺创新层面，可针对卫星结构件精密加工、多学科联合仿真等核心环节，部署自适应控制、智能工艺决策系统，提升复杂工况下的工艺稳定性。同时，建议加强生产系统的柔性化改造，通过模块化生产线设计、可重构工装夹具的应用，增强对多型号、小批量任务的快速响应能力。为提升资源利用效率，建议建立覆盖设备、能源、物料的三维可视化监控体系，结合机器学习算法优化生产排程，将设备综合效率（OEE）提升纳入智能化改造的核心考核指标。此外，建议牵头组建卫星产业创新联盟，联合高校院所

共建工艺知识库和专家系统，推动卫星核心技术的智能化突破。

(2) 规模以上生产制造企业应重点聚焦生产效能提升。

规模以上企业需重点提升生产过程的精益化与智能化水平。建议实施“单元化改造”策略，如在卫星部组件装配、电子装联等关键制造单元，部署机器视觉检测、智能物流转运等系统，逐步实现工序间的自动化衔接。针对质量管控环节，可引入基于深度学习的缺陷识别技术，建立涵盖原材料入库、过程检验、成品测试的全流程质量追溯体系。对于多品种生产场景，建议采用动态工艺路线规划技术，通过智能排产系统实现订单、设备、人员的精准匹配。同时，需加强工艺标准化建设，将成熟操作经验转化为数字化作业指导书，并嵌入生产执行系统，确保工艺规范的全流程落地。此外，应积极参与行业共享技术平台建设，通过租用云化仿真工具、共享试验检测资源等方式降低技术应用门槛。

(3) 小微生产制造企业应重点夯实基础能力建设。

小型企业应立足实际需求，分阶段推进基础能力升级，其首要任务是提升生产设备的数字化水平，优先在自身产品的关键工序部署数控化装备。在管理规范化方面，建议引入轻量化生产管理系统，建立覆盖订单接收、物料配送、进度跟踪的数字化管控流程，消除纸质单据传递带来的效率损耗。针对质量控制薄弱环节，可配置便携式智能检测终端，通过

标准参数模板自动判定产品合格状态。对于供应链协同需求，建议接入行业供应链服务平台，获取标准化技术规范和质量要求，提升配套产品交付合格率。同时，可探索与周边企业共建共享检测实验室，通过设备联采、服务分包等方式降低技改投入压力。

结合《江苏省智改数转网联关键环节典型场景参考指引》及本指南环节与场景的章节内容，不同规模企业所建议的关键环节和典型场景如下表所示。

表 2-不同规模企业关键环节及典型场景建议

关键环节	典型场景	适用的企业业务类型	大型骨干生产制造企业	规模以上生产制造企业	小微生产企业
产品设计环节	产品数字化研发设计	卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭、地面设备	★★★	★★	★
	虚拟验证与中试	卫星整星、火箭、卫星平台、卫星载荷、地面设备	★★	★★	★
工艺设计环节	工艺数字化设计	卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭制造、地面设备	★★★	★★	★
生产作业环节	产线柔性配置	卫星整星、火箭制造	★★★	★★★	★
	人机协同作业	卫星整星、卫星平台、火箭制造	★★★	★★★	★★★
	数智精益管理	卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭制造、地面设备	★★	★★	★
质量管控环节	在线智能检测	卫星整星、卫星平台、卫星载荷、地面设备	★★	★★	★
设备管理环节	设备运行监控	卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭、地面	★★★	★★★	★

		设备			
仓储物流环节	智能仓储	卫星整星、火箭制造、地面设备	★★★	★★	★
	精准配送	卫星整星、火箭制造、地面设备	★★★	★★	★
信息基础设施	工业信息安全管控	卫星整星、卫星平台、卫星载荷、火箭制造、地面设备	★★★	★★★	★★★

注：表中“★★★”表示高优先级，“★★”表示中优先级，“★”表示低优先级。

2、相关政策

2.1、诊断评估政策

（1）两化融合自评估

持续推进信息化和工业化深度融合（以下简称两化融合），是党中央、国务院的战略部署，两化融合管理体系是推进两化深度融合的重要举措和有力抓手。企业可利用国家两化融合公共服务平台江苏省分平台（网址：<http://jspg.cspiii.com>），开展两化融合自评估、自诊断、自对标，通过诊断发现问题，通过对标找准方向，能够全面了解当前两化融合水平现状和发展定位，有效明确提升信息化环境下核心竞争力的可行路径。

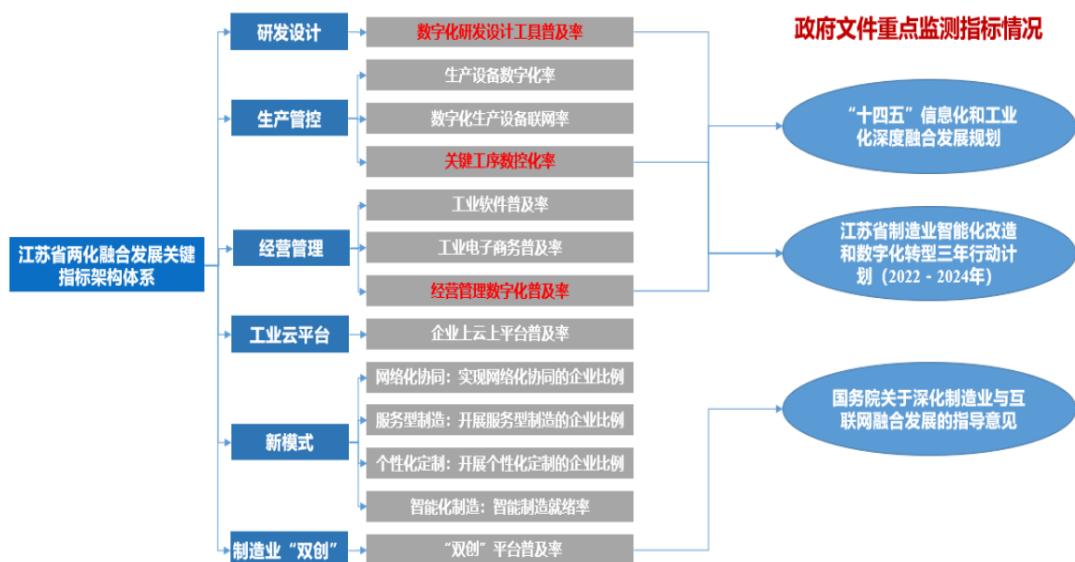


图 20-两化融合自评估指标体系

企业两化融合评估依据为国家标准 GB/T 23020-2013《工业企业信息化和工业化融合评估规范》。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。

系列标准包括:

- 《工业企业信息化和工业化融合评估规范》
(GB/T23020-2013)
- 《信息化和工业化融合管理体系基础和术语》
(GB/T23000-2017)
- 《信息化和工业化融合管理体系要求》(GB/T23001-2017)
- 《数字化转型参考架构》(TAIITRE10001-2020)
- 《数字化转型价值效益参考模型》(TAIITRE10002-2020)
- 《数字化转型新型能力体系建设指南》
(TAIITRE20001-2020)
- 《两化融合管理体系新型能力分级要求》
(TAIITRE10003-2020)

贯标流程如下图:



图 21-两化融合贯标流程

企业登录网址：<https://jsgc.cspiii.com>，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。

(3) 智能制造能力成熟度评估 (CMMM)

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

企业可以通过智能制造数据资源公共服务平台（www.c3mep.cn）开展智能制造能力成熟度自评估或委托第三方评估认证机构进行现场评估。通过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。

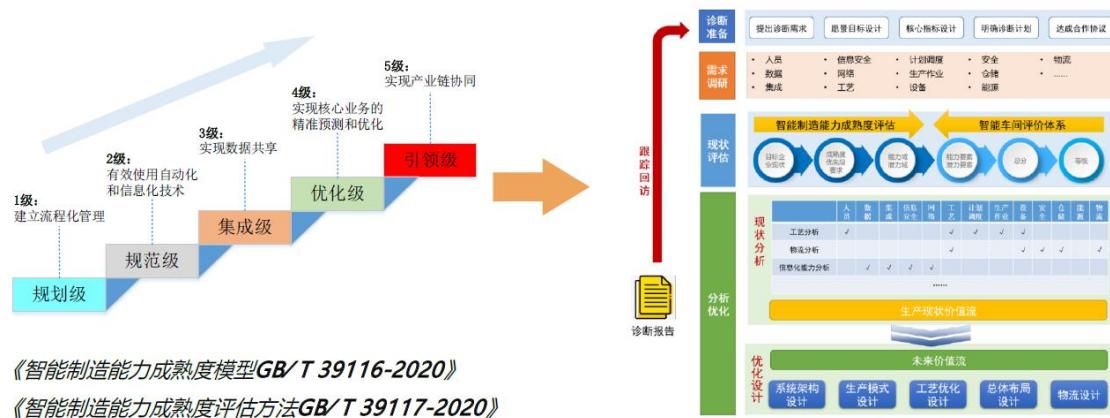


图 22-智能制造能力成熟度模型

(4) 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 DCMM (Data Management Capability Maturity Assessment Model,) 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。DCMM 评估网址为 www.dcmm.org.cn。

企业首先进行在线自评，后提交 DCMM 评估申请，由

评估机构进行 DCMM 评估。评估流程为：

第一阶段（准备）：被评估组织填写 DCMM 评估申请表并签署技术服务合同；评估机构与被评估组织成立联合评估组，明确双方工作范围；评估机构向被评估组织发放相关材料清单，被评估组织进行第一次材料准备。

第二阶段（实施）：评估机构与被评估组织共同召开项目启动会，明确评估计划、评估流程、评估范围及评估人员；评估机构根据被评估组织所选择的评估业务类型进行实施，包括：DCMM 标准解读、现场企业自评或远程自评支持等。

第三阶段（发布）：从第二阶段结束后起算 5 个工作日内，被评估组织向评估机构提交补充材料。评估机构根据评估发现以及证明材料进行评分，制定 DCMM 评估报告并出具证书。

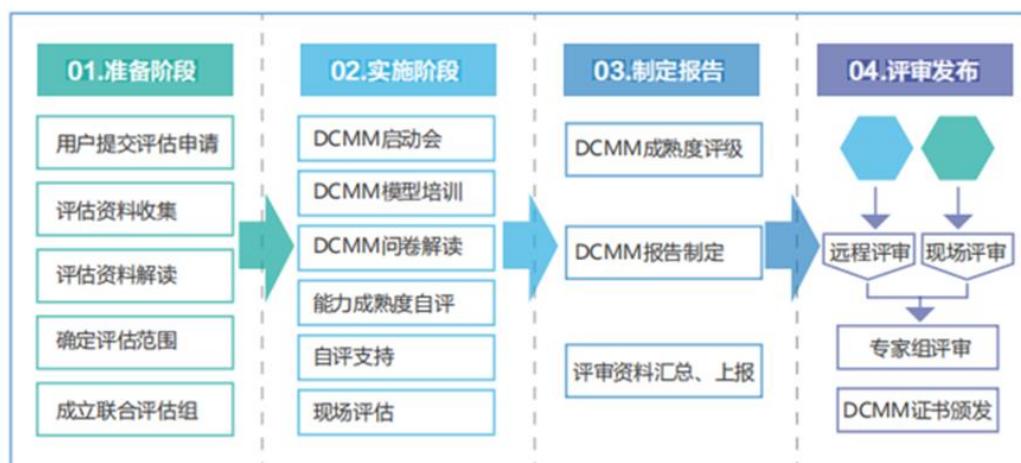


图 23-DCMM 评估流程

(5) 数字化转型成熟度评估

《数字化转型成熟度模型》(T/AIITRE10004—2023) 给

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

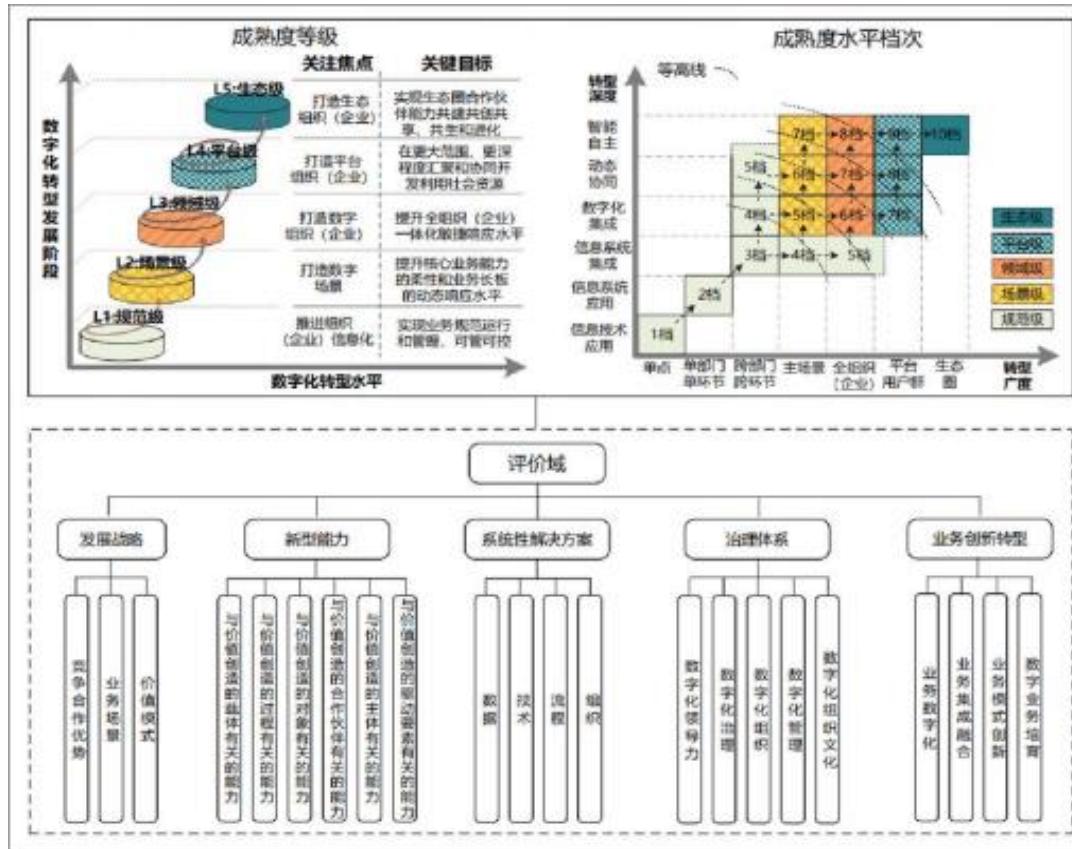


图 24-数字化转型成熟度模型

企业可以通过线上线下结合方式展开诊断对标，线上（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短板和发展建议数字化转型总体发展建议。

线下深度诊断将邀请评审专家将评估发现和行业进行对标评估过程提供咨询建议，最终给出线下深度诊断报告——包含企业发展现状和问题清单。

（6）中小企业数字化转型评测

为进一步助力中小企业数字化转型，《中小企业数字化水平评测指标（2024年版）》从数字化基础、经营、管理、成效四个维度综合评估中小企业数字化发展水平，其中，数字化基础、管理和成效三个维度采用评分的方式确定等级，数字化经营部分用场景等级判定的方式确定等级。判断标准如下：

等级	数字化基础、管理及成效	数字化经营应用场景
一级（初始级）	≥20 分	不少于 6 个应用场景（其中不少于 3 个约束性场景）等级需达到一级
二级（规范级）	≥40 分	不少于 6 个应用场景（其中不少于 3 个约束性场景）等级需达到二级
三级（集成级）	≥60 分	不少于 8 个应用场景（其中不少于 5 个约束性场景）等级需达到三级
四级（协同级）	≥80 分	不少于 10 个应用场景（其中不少于 6 个约束性场景）等级需达到四级

中小企业可根据自身实际情况通过此平台完成线上自测（网址：<http://caii-sme.indusforce.com/>），也可发起线下诊断需求，评估师将通过人员访谈、问卷调查、系统演示、现场勘查等方式，为中小企业提供数字化水平评估诊断，助力中小企业明确实施路径，加快转型进程。

2.2、企业赋能政策

（1）工信部智能工厂梯度培育

为贯彻落实国务院办公厅印发的《制造业数字化转型行动方案》，按照《“十四五”智能制造发展规划》任务部署，构建智能工厂、解决方案、标准体系“三位一体”工作体系，打造智能制造“升级版”，工业和信息化部，国家发展改革委、财政部、国务院国资委、市场监管总局、国家数据局联合开展2024年度智能工厂梯度培育行动。

智能工厂梯度培育行动按照《智能工厂梯度培育行动实施方案》和《智能工厂梯度培育要素条件》的要求，分基础级、先进级、卓越级和领航级四个层级开展智能工厂的梯度培育工作。鼓励制造业企业参考智能制造能力成熟度评估结果，制定智能工厂建设提升计划，并对照各级要素条件开展自建自评。

智能工厂项目申报、评审、管理、评估等工作基于智能制造数据资源公共服务平台（<https://www.miit-imps.com/>）开展。

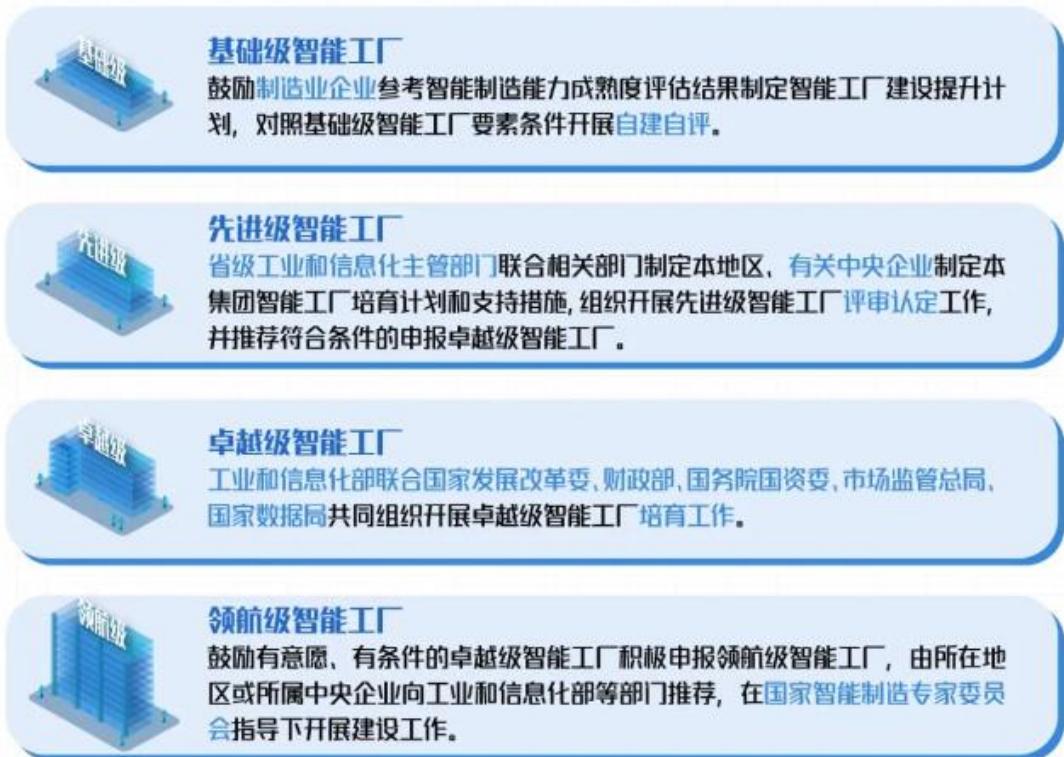


图 25-工信部智能工厂梯度培育

(2) 工信部 5G 工厂名录项目遴选

为深入推进“5G+工业互联网”创新发展，持续实施5G工厂“百千万”行动，加快高水平5G工厂建设，推动数字经济和实体经济深度融合，推进各行业领域企业“智改数转网联”，开展5G工厂名录项目遴选工作。企业通过“5G+工业互联网发展管理平台”(<http://5gii.aii-alliance.org/pro/login>)或“5G+工业互联网发展管理平台——5G工厂库”软件(<http://www.aii-alliance.org/index/c222/n5142.html>)填报项目。主要针对以下内容开展遴选：

1.基础设施建设。开展5G网络建设，强化生产现场网络能力，创新网络建设服务模式；推动工业网络互通，运用新

型网络技术，加快 IT-OT 网络融合；部署边缘计算，促进云网边缘协同；建设业务系统，包括数据存储、标识解析平台，支撑生产运营智能化。

2.厂区现场升级。推动现场装备网络化改造，加快工业控制系统融合，提升企业数据采集能力；统筹 IT-OT 应用融合化部署，形成集中管控、现场按需应用的融合方案；推动生产服务智能化升级，优化设备健康管理、工艺参数调优、能耗排放管理、产品售后服务。

3.关键环节应用。支持 5G、人工智能、数字孪生等技术在研发设计、生产运行、检测监测、仓储物流、运营管理方面的应用，提升生产效率和产品质量。

4.网络安全防护。升级安全防护能力，构建多层级网络安全防护体系，提升网络安全监测水平；提升安全管理水平，提高设备、控制、网络、平台和数据等安全防护能力。

（3）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）

为深入贯彻习近平总书记关于新型工业化的重要论述和对江苏工作重要讲话精神，认真落实国务院关于推动制造业数字化转型的决策部署，深化制造业智能化改造、数字化转型、网络化联接，促进实体经济和数字经济深度融合，制定本行动计划。

到 2027 年，全省制造业企业设备更新、工艺升级、数字

赋能、模式创新步伐明显加快，打造一批具有江苏特色的智能工厂，规上工业企业基本完成智能化改造，中小企业全面实施数字化转型。数字技术在工厂建设、研发设计、生产作业、经营管理和能耗、碳排放及资源循环利用等关键环节普及应用，工业互联网创新发展，人工智能加速赋能，生产要素广泛联接，助力“1650”产业体系建设迈上新台阶，新型工业化走在全国前列。

重点任务：

1、实施智能工厂梯度建设行动

普及推广基础级智能工厂；规模推进先进级智能工厂；择优打造卓越级智能工厂；积极培育领航级智能工厂。

2、实施中小企业数字化转型行动

推动创新型中小企业初始级转型；推动省级专精特新中小企业规范级转型；推动国家专精特新“小巨人”企业集成级转型。

3、实施数字基础设施升级行动

深化企业内外网络建设；增强先进算力服务能力；壮大工业互联网平台体系。

4、实施人工智能赋能应用行动

加快数据要素供给与应用；加快人工智能+行业典型应用；加快人工智能赋能应用基地建设。

5、实施工业网络和数据安全保障行动

健全网络和数据安全防护体系；促进网络和数据安全产业链支撑。

6、实施发展环境优化提升行动

加快行业实施指南编制和推广；促进智能装备研发和推广应用；加速工业软件攻关和更新换代；加快数字技术技能人才队伍建设；加强发展状态监测评估。

（4）江苏省制造强省建设专项资金项目

根据《江苏省省级财政专项资金管理办法》（省政府令第 138 号）、《关于进一步加强省级财政专项资金管理实施方案》（苏政办发〔2019〕74 号）和《江苏省制造强省建设专项资金管理办法》（苏财规〔2024〕3 号），制定 2025 年度江苏省制造强省建设专项资金项目指南（附件 1~3，以下简称《项目指南》），项目重点支持方向如下：

（一）重点产业技术创新。重点支持企业创新载体建设、创新药和医疗器械奖励、临床试验机构创新药械研发服务等。

（二）智改数转网联。重点支持国家卓越级智能工厂建设、工业互联网平台建设等。

（三）服务体系建设。重点支持中小企业公共服务体系建设、“1650”产业服务体系建设、在全国有影响力的服务产业发展重点活动、开放原子开源专区建设、大学生企业实习实训基地等。

（四）制造业贷款财政贴息。重点支持省内制造业贷款

项目贴息(按照《江苏省制造业贷款财政贴息实施细则(2025年)》执行)。

“筑峰强链”重点企业可直报省工信厅(以下简称“直报项目”)，也可按照属地管理原则申报。中央企业、省属企业以及社会组织等单位项目，按照属地管理原则申报(直报项目除外)。省属事业单位须经其主管单位审核盖章后，行文向省工信厅直接申报。项目申报采取网上申报方式，进入省工信厅网上政务服务旗舰店(网址：<https://www.jszwfw.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立项审核，以下简称“专项资金项目管理系统”)进入申报页面，页面自动提醒申报主体是否可以直报。

(5) 江苏省先进级智能工厂

为深入贯彻国务院关于推动制造业数字化转型的决策部署，认真落实省政府办公厅《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)》(苏政办发〔2024〕39号)，根据工业和信息化部等部委开展智能工厂梯度培育、中小企业数字化赋能等工作部署，分层分级推进智能工厂建设，促进实体经济和数字经济深度融合。

构建智能工厂梯度培育体系，按照工业和信息化部等部

委《智能工厂梯度培育行动实施方案》等文件，鼓励制造业企业参考《智能制造典型场景参考指引（2024年版）》、《江苏省智能工厂梯度建设要素条件（2025年版）》，在车间智能化改造基础上，加强智能制造装备、工业软件与操作系统和工业网络设备等集成应用，开展基础、先进、卓越和领航级智能工厂梯度建设。

各设区市工业和信息化主管部门结合免费诊断工作基础，制定本地区智能工厂梯度培育计划和支持政策，鼓励和引导企业在利用《江苏省企业数字化转型通用评估指标体系（2025年版）》评价基础上，对照《江苏省智能工厂梯度建设典型场景企业自评价参考（2025年版）》，开展智能工厂建设水平自评价，并推荐符合条件的企业申报省先进级智能工厂。

申报主体已完成智能工厂建设，通过江苏政务服务网江苏省工业和信息化厅旗舰店智能工厂等级水平自评测达到先进级智能工厂等级水平，且申报主体智能制造能力成熟度自评价水平达到 GB/T 39116-2020《智能制造能力成熟度模型》二级及以上。

具体要求可参见江苏省工信厅网站（<https://gxt.jiangsu.gov.cn/>）《关于组织开展2025年江苏省先进级智能工厂申报工作的通知》。

（6）江苏省星级上云企业创建工作

为贯彻落实《江苏省制造业智能化改造和数字化转型三年行动计划(2022—2024年)》(苏政办发〔2021〕109号),加快推进企业“上云上平台”,围绕“1650”产业体系建设,助力制造业“智改数转网联”,支撑数实融合强省建设,根据《江苏省星级上云企业遴选工作指南(2024年版)》,江苏省工信厅开展江苏省星级上云企业创建工作。

企业可通过公有云、私有云或混合云等形式上云。企业可在三星级、四星级、五星级中任选一类进行申报。其中,星级上云企业须逐级申报,不得重复申报已获评星级。

各设区市工信局自行开展三星级、四星级上云企业遴选工作。各地工信局将经企业申报、项目遴选、现场核查、信用审查、公示公布等严格工作程序形成的三星级、四星级上云企业项目信息材料,线上报送省工信厅。五星级上云企业由各设区市工信局组织初审和推荐。各地工信局将推荐的五星级上云企业项目信息材料,线上报送省工信厅由省工信厅组织开展五星级上云企业遴选工作。

具体要求可参见江苏省工信厅网站(<https://gxt.jiangsu.gov.cn/>)《省工业和信息化厅关于组织开展2024年度首批省星级上云企业创建工作的通知》。

2.3、供需对接平台

(1) 世界智能制造大会

经国务院批准,自2016年起,世界智能制造大会已在南

京市连续成功举办了八届。作为智能制造领域最具权威的国际化会议之一，八届大会共有 20 余个国家和地区的近 3000 名重要嘉宾参会，观展人数近 45 万人次，吸引了中央电视台、新华社、新浪网等约 100 多家主流媒体及专业媒体的报道，发布了《国家智能制造“十三五”发展规划》《世界智能制造十大科技进展》《全球智能制造发展态势》《中国智能制造发展八大趋势》等权威文件，集中展现了国际智能制造领域的前瞻思想、前沿技术和发展趋势，为国内外智能制造相关院所、机构、企业搭建了云上交流合作、趋势发布、产品对接、成果展示、人才集聚的重要平台。

2024 世界智能制造大会由江苏省人民政府、国际智能制造联盟共同主办，结合智能制造最新发展成果和趋势，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，秉持“高端化、国际化、专业化、体系化”办会思路，举办主题大会、专题活动、重大签约活动，并在大会同期举办一场智能制造市场化展览，着力打造开放、合作、共赢、互促的全球智能制造领域品牌盛会。

（2）中国（南京）国际软件产品和信息服务交易展览会

中国（南京）国际软件产品和信息服务交易展览会（CIS，简称：南京软博会）由江苏省人民政府主办，南京市人民政府与江苏省工业和信息化厅共同承办的软件产业专业型博

览会。

自 2005 创办以来,南京软博会已经成为中国规模最大、国际化程度最高、最具影响力的国际 ICT 展会之一。多次被评为“中国十大知名品牌展会”、“中国十大最具影响力品牌展会”、“中国十大影响力专业展会”、“中国会展之星产品大奖”等。

12 月 22 日, 2024 中国(南京)软件产业博览会在南京国际博览中心圆满收官。本届博览会以“行业引领”、“展示交流”、“合作对接”为核心, 汇集 200+ 参展/参会企业, 呈现多场配套专题活动, 荟聚参会代表 1000 余人, 吸引与会及参观的专业观众近 3 万人次, 打造“展+会+奖”三位一体的行业交流与品牌创新平台, 成果丰硕, 亮点频现。

(3) 江苏省中小企业公共服务平台

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

目前，平台访问量已超过 2800 万次，平台在线用户数超 15.5 万，专精特新梯度培育入库企业超 6 万家，品牌服务与企业展示近 3000 家。

The image shows two screenshots of the Jiangsu Provincial SME Public Service Platform. The top screenshot is the homepage, featuring a large banner with the text '江苏省中小企业公共服务平台 全新上线' (Jiangsu Provincial SME Public Service Platform, New Launch) and a 3D icon of a smartphone with a gear and a play button. Below the banner are statistics: 2945+万次 (Platform total visits), 367家 (367 provincial demonstration platforms), 161563个 (161,563 platform users), 487条 (487 service activities), and 2462家 (2,462 service institutions). The bottom screenshot shows a 'Find Services' page with a sub-header '一站式融合共享服务助力产业协同创新' (One-stop integrated and shared service to promote industrial cooperation and innovation). It displays various service icons:智改数转 (Intelligent Manufacturing Transformation), 投融资服务 (Funding and Financing Services), 创业服务 (Business Start-up Services), 人才与培训 (Human Resources and Training), 技术创新质量品牌 (Innovation and Quality Brand), 管理咨询 (Management Consulting), 营销服务 (Marketing Services), and 法律服务 (Legal Services). Below these are two service provider cards: '连云港市质量技术综合检验...' (Lianyungang City Comprehensive Quality and Technical Inspection) and '江苏博济堂科技创业服务有...' (Jiangsu Bojixiang Technology Entrepreneurship Service Co., Ltd.). The bottom of the page features sections for '找机构' (Find Institutions), '找案例' (Find Cases), '找活动' (Find Activities), and '找专家' (Find Experts).

图 26-江苏省中小企业公共服务平台

(4) 智能化改造数字化转型服务资源池

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

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



图 27-智能化改造数字化转型服务资源池

六、愿景与展望

卫星行业作为国家战略性新兴产业和航天强国建设的重要支柱，正迎来历史性发展机遇。在全球科技革命与产业变革深度融合的大背景下，未来制造、未来信息、未来材料、未来空间等前沿领域的突破性进展，与人工智能技术的全面渗透，正在重塑卫星产业的底层逻辑，推动行业向智能化、网络化、协同化方向跃迁。

在技术融合创新方面，数字孪生、智能机器人和增材制造的新型制造模式，正在突破传统航天器生产的物理边界，使卫星制造从离散型工艺向连续化转型，实现模块化设计、批量化生产与在轨维护的有机统一；超轻量化复合结构材料、自修复热控涂层、石墨烯基储能装置柔性、钙钛矿太阳能电池可展开天线等新一代技术产品创新，显著提升卫星有效载荷比和服役寿命，为深空探测和星座组网提供可靠保障；量子通信技术与卫星平台的结合，推动天地一体化密钥分发网络向实用化迈进，构建起覆盖全球的安全通信体系；光子集成芯片与太赫兹通信模块的微型化突破，使卫星载荷数据处理能力呈指数级提升，支撑高分辨率遥感数据的星上实时处理；低轨巨型星座与高轨多功能卫星的协同组网，构建起分层立体的空间信息服务体系，支撑全球实时地球观测、精准气象预报、应急救灾等公共服务能力跨越式提升。而人工智能技术与研发设计、制造测试、在轨运行、数据处理与应用

等方面的深度融合，则进一步加速了卫星产业的智能化发展。

在产业协同发展方面，通过国家级地方政府“十四五”航天规划等政策引导卫星技术与未来产业的深度融合，产业链上下游协同效应日益凸显：上游的芯片与元器件研发聚焦自主可控，中游的星座运营企业探索数据增值服务模式，下游的应用开发商则加速垂直行业解决方案落地。卫星制造、发射服务、地面设备、运营应用等环节的界限逐渐模糊，催生出“卫星即服务”的新型商业模式。云原生架构在卫星系统的深度应用，使空间数据服务可按需获取、弹性扩展，推动遥感解译、导航增强等增值服务向实时化、智能化演进。卫星应用与智慧城市、智能交通、精准农业等领域的深度融合，正在孕育万亿级市场规模的空间数字经济新蓝海。

面向未来，我国的卫星行业将在多重技术红利与政策红利的叠加下实现跨越式发展。预计卫星导航与位置服务产值将突破万亿规模，而低轨通信星座的全面建成将重构全球信息基础设施格局。更为深远的是，卫星技术与未来产业的交叉融合，将催生空间经济新形态，在深空探测、量子通信、太空制造等前沿领域形成战略制高点。这一进程不仅强化国家综合竞争力，更将为全球可持续发展贡献中国智慧，推动构建人类命运共同体的空间维度实践。在此趋势下，江苏亟需抢抓机遇加速布局，坚持需求导向、应用牵引的原则，加码政策扶持，抢占战略竞争制高点，掌握发展主动权，打造

具有全国竞争力的商业卫星全产业链发展高地，在星辰大海的征途上谱写江苏“强富美高”发展新篇章。

附件：

附件 1：人工智能典型应用场景

1、卫星零部件智能仓储

在卫星制造过程中，智能物流可以发挥重要作用，通过运用人工智能技术，能够优化仓储库位管理、AGV 运输调度和路径规划，从而提高物流效率、降低运营成本。

人工智能在物流中的具体应用包括：利用机器学习算法进行库存精准预测，结合计算机视觉技术通过摄像头和传感器实时跟踪物品，提高分类和挑选的准确性；借助机器人技术，通过智能算法控制机器人进行货物的自动分拣与存储，如智能仓储机器人能够根据实时库存数据和订单需求，自动规划最优路径，精准完成货物的搬运和存储任务；采用深度强化学习，使 AGV 能够根据实时环境信息动态调整路径，避开障碍物和拥堵区，提高了 AGV 的运行效率，减少了碰撞风险。



图 28- 卫星工厂智能仓储物流

2、卫星质量管控

当前，卫星产品种类繁多且结构复杂，质量管控涉及设计、采购、生产、测试、发射以及在轨运行等多个环节，人工智能技术的应用可以有效提高卫星检测效率，提高产品生产一致性。

在卫星制造过程中，人工智能技术通过整合视觉与传感器数据，实现制造阶段缺陷的自动识别和尺寸偏差的精准检测，利用机器学习对试验数据进行关联分析，在测试阶段提前预警潜在风险，为改进提供依据。在质量检测环节，引入视觉检测技术结合神经网络算法，实现点胶、装配、焊接等过程的自动识别与缺陷智能判定，提高检测效率和准确性，确保卫星产品高质量生产和可靠运行。

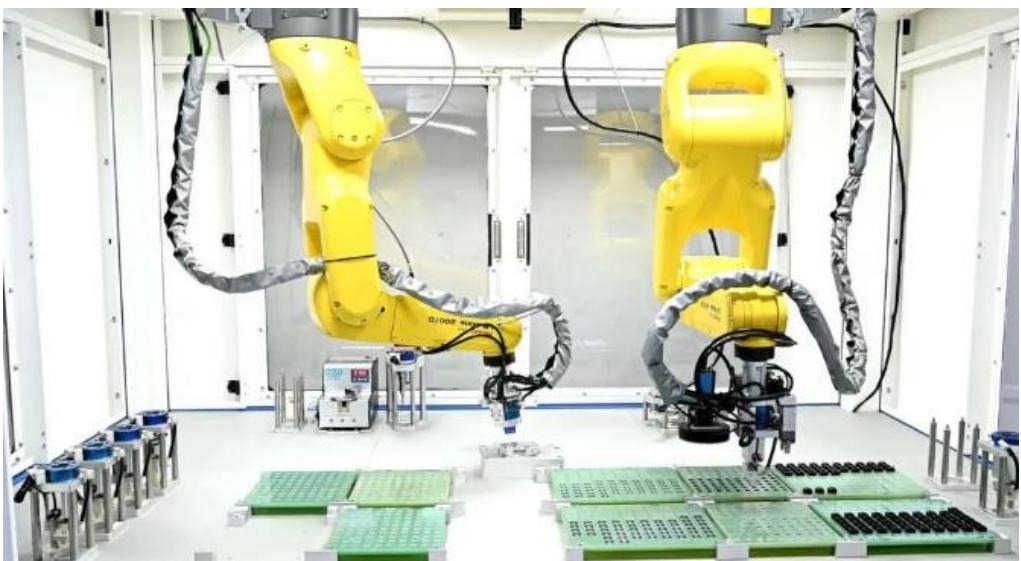


图 29-卫星智能测试

3、卫星智能生产装配

传统卫星装配主要依赖人工经验与固定工艺流程，存在效率低、灵活性差、精度不足等缺陷。如今，借助人工智能等先进技术手段，卫星装配突破了传统限制，高了生产效率和质量，增强

了生产的灵活性和可靠性。

通过部署多模态感知网络，并结合深度学习算法，可以对关键部件进行全流程自动化缺陷检测，能够精准识别材料形变与装配错位。例如，吉利卫星超级工厂利用人工智能算法和机器学习，智能质检系统可实时监控卫星的生产过程，自动识别微小瑕疵或潜在问题，并将卫星在轨数据与工厂制造数据进行比对与处理，以保证批量化生产的可靠性。利用强化学习可以动态调度柔性生产线资源，自主适配不同型号卫星的工艺参数与装配顺序，显著提升了多任务并行制造能力。强化学习技术能够通过不断学习和优化，找到最优的资源分配和调度方案，从而提高生产效率和质量。同时，通过预测性维护模型能够实时监控设备状态，做到提前识别故障并动态调节生产节奏。这种预测性维护技术可以减少设备故障停机时间，提高生产效率和设备利用率。



图 30-卫星智能装配

4、卫星智能运维

卫星的工作状态可通过一系列指标反映。为掌握卫星运行情况，设计师在卫星设计阶段布置大量传感器，用于测量电压、电流、温度、转速等参数，并通过测控链路将这些参数传输至地面。设计师依据遥测数据判断卫星是否正常运行，若发现异常，则分析故障原因并制定相应处理措施。随着在轨卫星数量的急剧增加，传统依靠人工通过文本、曲线等形式进行实时监测的办法已难以满足需求。

人工智能算法具有不断学习强化和自适应的特性，随着预测经验的积累，其准确性会不断提高。在卫星运行过程中，故障诊断往往需要检查分析大量参数状态。通过提取故障状态的特征并进行学习分析，人工智能能够在海量数据中识别故障数据，甚至在实时数据流中提前发现故障迹象。因此，采用人工智能技术解决卫星参数的回归预测分析和故障识别提取问题，可以显著减少工作人员在数据分析方面的工作量。

在卫星智能运维中，人工智能技术的应用已经取得了显著的进展。机器学习与深度学习技术被广泛应用于故障诊断和预测性维护。例如，支持向量机（SVM）和随机森林等机器学习算法可用于建立故障诊断模型，通过对历史数据的学习，模型能够精准识别正常与异常状态的特征差异，从而实现故障的快速诊断。深度学习中的卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN）及其变体（如长短期记忆网络 LSTM）则被用于处理卫星图像和时间序列数据。LSTM 能够对卫星的时序遥测数据进行建模，预测未

来状态并提前发现潜在故障。

强化学习算法也在卫星智能运维中发挥了重要作用。通过与环境的交互，强化学习智能体能够学习到最优的资源分配策略，从而提高卫星的任务执行效率和能源利用效率。此外，基于机器学习的预测性维护模型能够实时监控卫星设备的状态，通过分析传感器数据，模型可以预测设备的剩余使用寿命（RUL），提前识别潜在故障并进行预警。

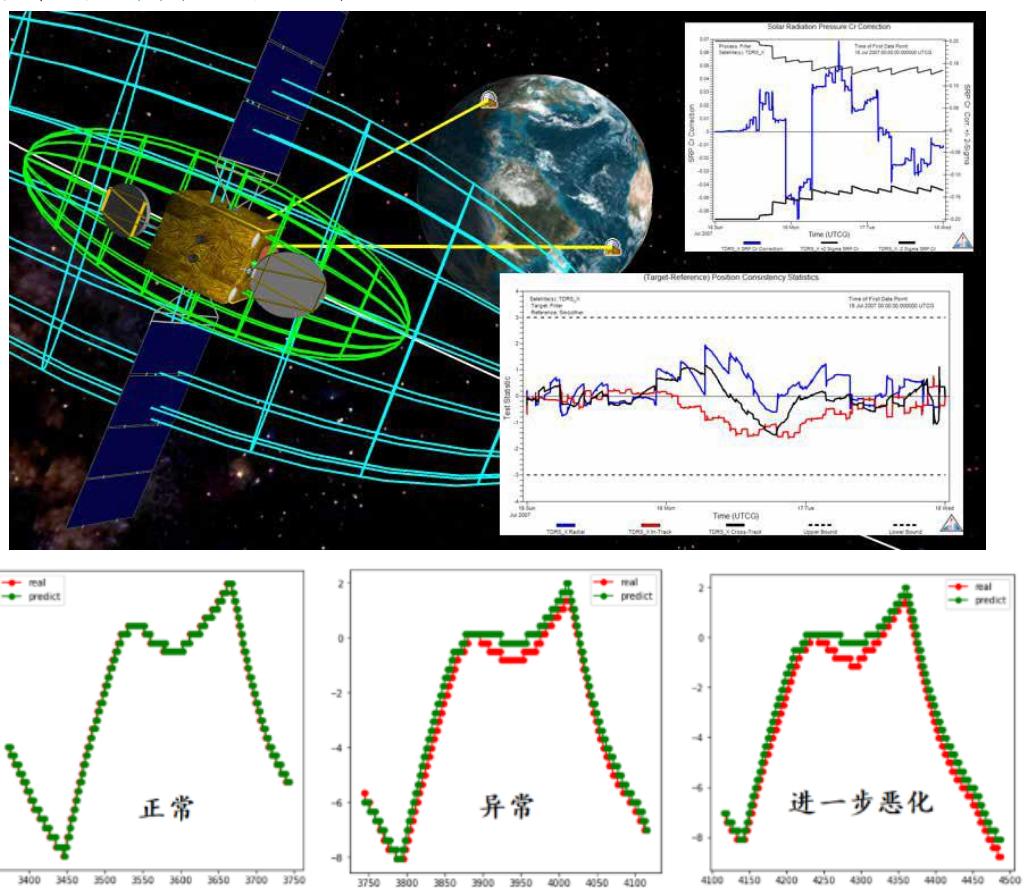


图 31-人工智能辅助人类分析数据

附件 2：投入改造清单及图谱

1、行业系统化场景图谱示意图

环节场景	卫星平台环节	卫星载荷环节	卫星发射环节	地面设备环节
研发设计 主场景	A1.1 主场景	B1.1 主场景	C1.1 主场景	D1.1 主场景
	卫星平台数字化研发设计 工具软件： AutoCAD、SolidWorks、CREO、CATIA、EmXpert SATCOM、Altium Designer 等设计工具、PLM 产品研发管理软件等。 数据要素： 材料特性参数、几何结构参数、热环境参数、力学环境参数、振动试验参数、接口参数等。 知识模型： CAD 模型、仿真模型、热控模型、能源平衡模型、姿轨控模型、通信链路模型、数字孪生模型、公共技术数据库、历史任务经验库等。 人才技能： 系统需求分解、接口设计与管理、系统验证、结构设计、多学科联合仿真、热控设计、电源设计、软件开发。 痛点问题： 多学科强耦合难；模型验证与真实环境差异；长周期验证流程与快速迭代矛盾；开发周期长。	载荷系统数字化研发设计 工具软件： AutoCAD、SolidWorks、CREO 等结构设计工具, Zemax、Code V 等光学载荷分析工具, ANSYS HFSS/CST 电磁兼容分析工具、MATLAB/Simulink 建模仿真工具, PLM 产品研发管理软件等。 数据要素： 载荷质量/功耗约束、寿命指标、分辨率(空间/光谱/时间)力学环境(振动、冲击)等需求数据, 轨道热环境、空间辐射通量等环境数据, 材料特性参数、几何结构参数等物理数据, 接口数据, 结构模态等仿真试验数据等。 知识模型： CAD 模型, 光-机-多物理场耦合仿真模型, FMEA 故障树模型, 接口控制模型, 知识库体系等。 人才技能： 具备需求分解能力, 系统工程能力, 熟悉航天器设计流程; 多学科知识, 如光学、电子、热控等; 软件工具的使用能力; 数据处理和分析能力; 团队协作和沟通能力。 痛点问题： 多学科协同困难; 数据管理复杂; 仿真与实测差异; 高可靠长寿命设计挑战; 知识传承困难; 研发周期和	运载火箭数字化研发设计 工具软件： 如 CATIA、SolidWorks (结构设计)、ANSYS (多物理场仿真)、HyperMesh (网格划分) 等 CAD/CAE 软件, ModelCenter(多学科优化)、STK(轨道与任务仿真)等多学科仿真工具, PLM 产品研发管理软件等。 数据要素： 三维模型、材料属性、气动/热力学参数等设计数据, 结构强度、推进性能、振动模态分析等仿真数据, 地面试车、风洞测试、飞行遥测等试验数据。 知识模型： CAD 模型, 仿真模型, 设计规范库, FMEA 故障树模型, 接口控制模型, 知识库体系等。 人才技能： 系统需求分解、接口设计与管理、系统验证、结构设计、多学科联合仿真, 编程与算法开发能力。 痛点问题： 工具链集成不足; 数据孤岛与碎片化; 知识复用率低; 计算资源瓶颈; 安全与保密风险。	地面站天线系统数字化研发设计 工具软件： ANSYS HFSS (高频电磁场仿真)、CST Studio Suite (多物理场耦合分析)、FEKO(天线辐射与散射特性仿真), SolidWorks、AutoCAD (机械结构设计)、ANSYS Mechanical (结构强度与热力学分析) , MATLAB/Simulink, PLM 产品研发管理软件等。 数据要素： 增益、方向图等电磁性能参数, 天线尺寸、材料属性等结构参数数据, 温湿度、风载、盐雾腐蚀等环境试验数据, 近场/远场测试结果、相位噪声、抗干扰能力等测试数据等。 知识模型： 设计规则模型, 材料特性知识库, 故障模型库, 参数优化算法模型等。 人才技能： 了解天线原理、微波工程等电磁理论领域知识, 具备电磁学+机械设计+信号处理等交叉学科设计能力, 编程与算法开发能力等。 痛点问题： 多工具链协同困难; 高精度仿真计算耗时; 测试验证成本高; 经验和知识依赖性强。

环节 场景	卫星平台环节	卫星载荷环节	卫星发射环节	地面设备环节
		成本压力。		
	A1.2 主场景	B1.2 主场景	C1.2 主场景	D1.2 主场景
	推进系统数字化研发设计	导航定位传感器数字化研发设计	发射弹道虚拟验证与中试	接收天线性能虚拟验证与中试
	<p>工具软件：SolidWorks、CATIA、NX 等结构设计工具软件，Thermal Desktop、SINDA/FLUINT 等热分析工具软件，ANSYS Fluent、STAR-CCM+ 流体仿真工具软件，ModelCenter、Isight 等多学科优化工具软件。</p> <p>数据要素：推进剂储箱尺寸、壁厚、材料、管路直径等结构参数，流体运动学、热力学、结构力学、多物理场耦合等仿真参数，点火试验、环境试验、材料兼容性试验等试验参数。</p> <p>知识模型：推进剂动力学模型、燃烧模型、热力学模型等物理模型，故障树分析模型、多目标优化等优化模型，历史任务数据、专家规则库等经验模型。</p> <p>人才技能：掌握推进技术、流体力学、材料科学等交叉学科知识，MATLAB 优化算法设计能力，故障分析能力，多分系统接口设计能力，项目管理能力</p> <p>痛点问题：多物理场耦合的复杂性导致仿真和设计困难；仿真精度不足及数据不足；迭代周期长；测试成本高。</p>	<p>工具软件：AutoCAD、SolidWorks 等结构设计工具；Altium Designer、Cadence 等电路设计工具，MATLAB/Simulink 信号处理仿真工具，Keil、IAR 等固件开发调试工具等。</p> <p>数据要素：精度、灵敏度、动态范围等性能数据，温度补偿参数、非线性误差校准等标定参数，电磁干扰数据，导航信号格式数据等。</p> <p>知识模型：信号传播模型，传感器动力学模型、故障分析模型、抗干扰模型、多目标优化模型等。</p> <p>人才技能：精通卫星导航原理，掌握微电子技术（低噪声电路设计）、材料科学等，熟练使用 HFSS/STK 等专业软件，具备 Python/Matlab 算法开发能力、跨学科设计能力。</p> <p>痛点问题：抗干扰与高灵敏度矛盾；极端环境适应性；时延一致性；多频段兼容性；成本与可靠性平衡等。</p>	<p>工具软件： MATLAB/Simulink、STK、ANSYS Fluent、COMSOL Multiphysics、SolidWorks/CATIA（三维建模）、OpenRocket（弹道原型设计）等。</p> <p>数据要素：结构尺寸、推进剂特性、发动机推力曲线、质量分布等设计数据，温度/气压/湿度随海拔变化、电磁干扰数据等环境数据，弹道轨迹、实际飞行偏差（如横向散布）、制导指令等制导数据等。</p> <p>知识模型：火箭物理模型、空气动力学模型、姿轨控模型、故障预测与诊断模型、多学科耦合仿真模型等。</p> <p>人才技能：熟练推导弹道微分方程并数值求解，掌握现代控制方法知识，具备编程与算法开发能力。</p> <p>痛点问题：计算资源需求大；模型精度和效率的平衡；复杂环境模拟的准确性；实时性要求高；数据安全和协同工作的挑战等。</p>	<p>工具软件：ANSYS HFSS、CST Studio Suite、FEKO 等电磁仿真工具，ANSYS Mechanical 等结构仿真工具，MATLAB/Simulink、ADS 等信号处理仿真工具，Altium Designer、SolidWorks 等几何建模工具等。</p> <p>数据要素：几何尺寸、材料介电常数/磁导率、馈电网络阻抗等天线本体参数，轨道热循环、太阳辐射通量等空间环境数据，增益（dBi）、波束宽度、旁瓣电平等电性能参数数据，紧缩场测试结果、近场/远场测量数据等。</p> <p>知识模型：全波仿真模型、高频近似模型、热-结构-电磁耦合模型、材料退化模型、信号链路模型、故障树分析模型等。</p> <p>人才技能：具备电磁场理论知识，掌握多物理场耦合分析能力，熟悉微波暗室测试与仿真数据对标流程等。</p> <p>痛点问题：模型太复杂；计算资源要求高；仿真时间长；仿真结果准确性有待提高。</p>
细	A1.3 细分场景	B1.3 细分场景	C1.3 细分场景	D1.3 细分场景
	热控分系统虚拟验证	量子通信载荷虚拟验证	整流罩分离机构设计	地面站网络规划设计

环节 场景	卫星平台环节	卫星载荷环节	卫星发射环节	地面设备环节
分 场 景	痛点问题: 多物理场耦合的计算复杂度、极端温度模拟的不确定性、瞬态分析的耗时问题；协作方面如数据格式不兼容、试验资源不足；管理方面如项目周期紧张、成本压力等。	痛点问题: 真实环境建模的复杂性导致仿真数据存在误差；多学科耦合难度大；不同领域的数据格式和仿真工具兼容性差；仿真基础数据不足导致炎症数据准确性需提升。	痛点问题: 极端工况的可靠性；结构轻量化与强度矛盾；地面模拟太空环境难度大；重复试验推高研发成本。	痛点问题: 频谱资源与干扰管理问题；地面站选址与地理限制；网络架构与性能优化挑战；设备冗余成本高；运维检测的自动化与智能化不足；网络安全威胁；初期投资成本高等。
	A1.4 细分场景	B1.4 细分场景	C1.4 细分场景	D1.4 细分场景
	结构热控一体化设计	超光谱成像光学仿真优化	推进剂加注系统设计	低功耗芯片电磁兼容试验
	痛点问题: 多学科耦合复杂性；数据与工具不兼容；模型计算资源消耗大；材料选择矛盾；验证测试困难；标准缺乏；人才短缺；以及成本时间压力等。	痛点问题: 高维数据建模的复杂性；多物理场耦合的影响、计算资源与效率的平衡；噪声与干扰的准确模拟；系统校准与验证的困难；多学科协同优化难度大等。	痛点问题: 液氢、液氧等低温推进剂需要极端低温储存，易导致材料脆化、密封失效和蒸发损失；加注后的多次测试和泄压时间较长；加注系统的材料和制造成本高；安全性设计要求高等。	痛点问题: 动态功耗管理的干扰问题；高频噪声与信号完整性；测试设备和实验室费用高；多模式重复测试耗时、设备设置和校准时间长等。
生产 制 造	A2.1 主场景	B2.1 主场景	C2.1 主场景	D2.1 主场景
	平台结构件工艺数字化设计	导航载荷部件装配产线柔性配置	火箭发动机工艺数字化设计	接收天线柔性组装产线柔性配置
	工具软件: SolidWorks、UG NX、CATIA 等 CAD/CAM 设计建模工具，Ansys、Abaqus 等仿真工具，Mastercam、HyperMill 等数控编程工具，如 PC-DMIS、VisionXpress 等表面质量检测工具等。 数据要素: 三维模型、工程图纸、技术要求等设计数据，加工工艺路线、刀具选择、切削参数、热处理等工艺数据，强度、硬度、弹性模量、热膨胀系数等材料参数数据，寸精度、表面粗糙度、形位公差等加工质量数据等。 知识模型: 几何建模与公差分析模型、材料特性与加工性能模型、加工工艺与设备性能模型、质量控制与故障诊	工具软件: AutoCAD、SolidWorks 等产线布局建模工具，Tecnomatix、Flexsim 等产能物流仿真工具，MES 系统、SCADA 系统、PLC 编程软件等。 数据要素: 三维模型、工程图纸、材料属性等设计数据，装配工序、工装夹具配置、扭矩/温度参数、工艺卡等工艺数据，尺寸公差、无损检测结果等质量数据，零部件批次号、供应商信息、库存状态等物料信息，传感器实时数据（压力、位移）、设备维护日志等设备数据。 知识模型: 产线布局模型、产能仿真模型、物流仿真模型、装配工艺模型、质量控制模型等。 人才技能: 具备机械设计、电子设计、	工具软件: CATIA、SolidWorks、ANSYS、ABAQUS、CATIA 等 CAD/CAE/CAM 工具，PLM 系统，MES 系统，SCADA 系统 Tecnomatix 仿真工具。 数据要素: 三维模型、工程图纸、材料属性等设计数据，装配工序、工装夹具配置、扭矩/温度参数、工艺卡等工艺数据，尺寸公差、无损检测结果等质量数据，零部件批次号、供应商信息、库存状态等物料信息，传感器实时数据（压力、位移）、设备维护日志等设备数据。 知识模型: 设计规范库、工艺知识图谱、故障模式库、数字孪生模型、专家经验库	工具软件: AutoCAD、SolidWorks 等产线布局建模工具，Tecnomatix、Flexsim 等产能物流仿真工具，MES 系统、SCADA 系统、PLC 编程软件等。 数据要素: 电磁参数、材料属性等设计数据，柔性工装配置参数、机器人路径规划数据、装配力矩设定值等工艺数据，反射面形变数据、环境试验结果等质量数据，高频材料批次、射频连接器型号等物料数据，电磁暗室测试数据（方向图、旁瓣抑制）、多径干扰模拟结果等试验数据。 知识模型: 天线几何模型、装配工艺模型、设计规范库、工艺知识图谱、故障模式库、专家经验库等。

环节 场景	卫星平台环节	卫星载荷环节	卫星发射环节	地面设备环节
	<p>断模型。</p> <p>人才技能: 熟练掌握 CAD/CAM 软件和数控软件编程操作能力, 熟悉各种精密加工设备操作方法, 掌握质量检测软件和检测设备操作能力, 工艺方案设计及优化能力, 问题解决与团队协作能力。</p> <p>痛点问题: 加工精度要求高; 材料加工难度大; 复杂结构加工挑战; 质量控制难度大。</p>	<p>产线规划设计等专业知识, 熟悉导航卫星载荷部件的装配工艺, 项目管理能力。</p> <p>痛点问题: 多品种变批量柔性化生产难度大; 资源动态调度管理优化难度大; 计划管控难度大; 产线建设成本高。</p>	<p>等。</p> <p>人才技能: 精通机械工程、流体力学、高温材料学等学科基础知识, CAD/CAE 工具使用能力, 工艺设计与优化能力, 质量分析与管控能力, 写作与沟通管理能力。</p> <p>痛点问题: 工艺复杂度高; 数据孤岛严重; 设备投入成本高; 检测时间长; 供应链管控难度大。</p>	<p>人才技能: 熟悉电磁场理论、微波工程, 了解复合材料力学特性, 掌握电磁仿真软件操作能力, 设计模块化工装适配多型号生产, 制定防呆防错方案, 质量管控能力, 沟通与协调管理能力。</p> <p>痛点问题: 工艺复杂度高; 人工操作效率低且一致性差; 数据孤岛问题; 多品种小批量柔性生产配置难度大。</p>
	A2.2 主场景	B2.2 主场景	C2.2 主场景	
	卫星平台结构件人机协同作业	卫星载荷微波器件人机协同作业	火箭舱段产线柔性配置	
	<p>工具软件: 如 CATIA、SolidWorks 等三维建模工具, Siemens Teamcenter 工艺管理工具, ROS 等人机协作控制系统, PLM 系统、MES 系统。</p> <p>数据要素: 尺寸、重量、材料特性等设计数据, 机器人运动轨迹的关节角度、速度曲线、运动轨迹等机器人数据, 力传感数据、视觉检测数据, 质量数据等。</p> <p>知识模型: 几何匹配模型、装配工艺模型、工艺知识库、故障分析模型、机器人轨迹规划算法、视觉检测算法等。</p> <p>人才技能: 掌握结构设计、自动化控制等基础知识, 机器人编程与调试能力, 视觉算法及软件开发能力。</p> <p>痛点问题: 装配高精度控制问题, 装</p>	<p>工具软件: HFSS、CST Studio Suite、Keysight ADS 等微波设计工具, ANSYS Mechanical 等仿真工具, ABB RobotStudio、KUKA KRL 等机器人路径规划工具, IPG Photonics 的 Laser Programmer 焊接工具等。</p> <p>数据要素: 波导尺寸、介电常数、焊接区域材料等器件参数, 激光功率、脉冲频率、焊接速度、路径重复定位精度等设备参数, 焊点检测数据、微波性能测试数据等。</p> <p>知识模型: 工艺优化模型、焊接工艺知识库、机器人轨迹规划算法、机器人离线编程</p> <p>人才技能: 掌握微波工程、材料科学等基础理论知识, 具备激光焊接工艺开发和机器人焊接编程能力, 具备质量管控</p>	<p>工具软件: AutoCAD、SolidWorks 等产线布局建模工具, Tecnomatix、Flexsim 等产能物流仿真工具, MES 系统、SCADA 系统、PLM 系统等。</p> <p>数据要素: 三维模型、工程图纸、材料属性等设计数据, 装配工序、工装夹具配置、扭矩/温度参数、工艺卡等工艺数据, 尺寸公差、检测结果等质量数据, 零部件批次号、供应商信息、库存状态等物料信息, 设备维护日志等设备数据。</p> <p>知识模型: 设计知识模型、工艺参数优化模型、缺陷检测质量分析模型、排产优化算法、数字孪生模型等。</p> <p>人才技能: 具备机械工程、自动化、软件工程、数据科学的复合背景, 熟悉火箭舱段特殊工艺, 能够协调设计、制造、检测全流程的数字化闭环, 具备智能工厂规划</p>	

环节 场景	卫星平台环节	卫星载荷环节	卫星发射环节	地面设备环节
	配可靠性与一致性问题，多品种柔性化装配问题等。	能力等。 痛点问题： 高精度焊接与变形控制难度大，工艺参数优化复杂性高，人机协同安全性风险等。	与落地的全生命周期管理经验。 痛点问题： 数据孤岛与标准化缺失，设备协议兼容性差，质量一致性难度大，供应链长周期管控难度大，安全与保密风险高，投资成本高。	
细 分 场 景	A2.3 细分场景	B2.3 细分场景	C2.3 细分场景	D2.2 细分场景
	零部件加工工艺数字化设计	太赫兹组件数智精益装配管理	涡轮泵部件金属 3D 打印人机协同作业	射频模块自动化在线智能检测
	痛点问题： 高精度加工难度大、复杂材料加工困难、复杂结构易变形、多工艺兼容性差、工艺优化复杂、数据驱动能力不足、设备与工具限制多。	痛点问题： 精度极高，装配误差需控制在微米甚至纳米级；尺寸微小，装配时易损坏；装配环境（温度、湿度、振动等）需严格控制，否则会影响性能和装配精度；高精度和复杂结构导致装配过程繁琐，人工操作效率低。	痛点问题： 金属粉末材料的性能一致性难以保证；打印过程中易产生内部缺陷（如孔隙、裂纹），检测难度大；打印后的部件需要复杂的后处理（如热处理、表面处理），工艺复杂且成本高。	痛点问题： 环境干扰敏感；校准一致性差；实时分析滞后；硬件耦合误差；测试系统可靠性低。
	A2.4 细分场景	B2.4 细分场景	C2.4 细分场景	
	平台表面质量识别与检测	载荷减振性能仿真测试	火箭舱段精准配送	
	痛点问题： 高精度微缺陷识别难；异形曲面检测适应性不足；自动化检测实时性差；加工环境干扰（如振动、粉尘）导致误检率高；多工序协同的在线检测技术不成熟。	痛点问题： 复杂动力学建模精度不足；材料非线性特性（如粘弹性、阻尼）表征困难；多物理场耦合（振动-热-结构）仿真可信度低；多学科协同优化效率与精度难以兼顾。	痛点问题： 吨位运输装备的承载能力与路径适应性不足；转运效率低、转运安全风险高。	

2、行业智能化改造装备清单

序号	适用场景	装备名称	主要功能	投入区间(万元)	国产/进口
1	整星制造	综合电子系统测试平台	验证星载计算机、电源管理模块、通信设备等综合电子系统的协调与控制能力。	100-200	国产
2	整星制造	太阳模拟器	模拟太阳辐射环境，测试卫星能源系统（如太阳能电池板）的发电效率及长期工作性能。	100-300	国产
3	整星制造	自动化装配机器人	执行精密部件（如太阳翼、天线）的自动化装配，适用于重复性高、精度要求严苛的工序，如推进器安装或有效载荷对接，提升装配效率与精度。	50-100	国产
4	整星及火箭制造	激光跟踪仪	适用于大型卫星组件、火箭舱段的三维空间定位和姿态调整，确保卫星各部件的几何精度和装配一致性。	80-150	进口为主
5	卫星载荷及地面设备制造	AOI 光学检测设备	用于载荷及店面设备电子器件的表面缺陷与焊接质量自动光学检测	100-300	进口
6	卫星载荷及地面设备制造	SMT 贴片生产线	卫星电路板焊接、电缆网布线和电子设备装配，保障电气系统功能完整性。	300-500	国产
7	卫星载荷及地面设备制造	EMC 电波暗室	模拟太空电磁环境，验证卫星通信系统与电子设备的兼容性，检测卫星在复杂电磁环境中的抗干扰能力及自身电磁辐射是否符合标准。	1000 以上	国产/进口
8	卫星载荷及地面设备制造	热真空试验设备	模拟太空极端温度环境，验证卫星在真空条件下的热控性能和设备可靠性。通常为 1-4 米级罐体，可进行整星级热循环试验，验证卫星在极端温差下的可靠性。	50-100	国产
9	卫星载荷及地面设备制造	振动试验台	模拟发射过程中的力学环境（如振动、冲击），测试卫星结构强度和部件连接的稳定性。测试卫星在发射过程中	30-50	国产

			承受机械振动的能力，验证结构强度和设备稳定性。		
10	卫星载荷及地面设备制造	噪声试验设备	模拟火箭发射时的高强度声学环境，检测卫星设备在噪声干扰下的工作状态。	30-50	国产
11	火箭制造	金属增材制造设备	用于火箭发动机喷管、燃料箱罩等复杂几何结构零部件一体化成型制造	300-500	国产
12	火箭制造	质心测量仪	测定整星质心位置，确保卫星在轨姿态控制系统的设计参数与实际重心一致。	30-50	国产/进口
13	地面设备制造	电性能测试系统	对终端设备的通信模块、电源管理、数据传输等功能进行自动化测试，确保性能达标。例如，卫星智能生产线中的整星电性能测试系统可迁移至地面终端生产，实现高效质检。	30-60	国产
14	地面设备制造	精益装配工位	配备精密运动机构和自适应工装，支持不同尺寸、重量的终端设备零部件的高精度装配。	20-60	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
1	产品数字化研发设计	设计文件、性能数据、仿真数据、设计 BOM	产品三维模型等数字化设计文件，仿真与试验模拟参数文件
2	虚拟验证与中试	仿真数据、试验验证数据、设计模型	产品设计在虚拟环境中的仿真结果与开展中试试验验证的参数文件
3	工艺数字化设计	工艺参数、工艺规程材料性能数据、工艺 BOM	工艺流程图、材料规格等工艺设计数据
4	生产计划优化	订单数据、计划数据、产能数据	客户订单需求、设备产能利用率、原材料库存等数据
5	智能排产调度	排产数据、设备资源数据	订单优先级、设备运行状态、工人排班等动态调度数据
6	产线柔性配置	产线人员数据、设备数据、工艺数据、物料数据、质量数据、产品规格数据	产线设备参数、产品规格切换逻辑及兼容性数据
7	人机协同作业	操作任务数据、环境感知数据、机器人运动参数数据	机器人操作指令、协作安全规则数据
8	数智精益管理	生产指标数据、成本数据	生产效率、能耗、成本等精益管理核心指标数据
9	在线智能检测	实时检测数据、图像数据、点云数据、尺寸数据、质量数据	产品缺陷检测图像、尺寸测量数据及自动判定规则
10	质量追溯与分析改进	质量记录数据、追溯标识数据、分析数据	产品批次、原材料来源、质量检测记录及缺陷根因分析数据
11	设备运行监控	设备运行参数、故障日志数据	设备振动、温度、能耗等实时运行参数及历史故障记录
12	智能仓储	库存数据、仓储环境数据、设备数据	物料库存量、仓储温湿度、自动化搬运设备状态数据
13	精准配送	物流路径数据、物料配送数据、调度数据	配送路线规划、订单时效要求、车辆实时位置数据
14	工业信息安全管控	安全日志数据、漏洞扫描数据	网络攻击日志、系统漏洞信息及安全防护策略数据

4、知识模型资源清单

序号	场景	知识模型	描述
1	产品数字化研发设计	参数化设计模型（CAD/CAE）	通过参数化建模与仿真优化产品性能，支持快速迭代设计。
2	产品数字化研发设计	多学科协同仿真模型	集成机械、电子、流体等多领域仿真工具，实现复杂产品系统的联合验证。
3	产品数字化研发设计	拓扑优化模型	基于力学与材料特性，自动生成轻量化、高强度的结构设计方案。
4	工艺数字化设计	CAPP 模型	基于规则库与知识库自动生成工艺路线、工时与资源分配方案。
5	工艺数字化设计	工艺仿真模型	模拟加工/装配过程，验证工艺可行性并优化参数（如切削力、热变形）。
6	工艺数字化设计	工艺知识图谱	整合历史工艺数据与专家经验，支持智能检索与工艺方案推荐。
7	工艺数字化设计	机器学习工艺优化模型	通过历史数据训练模型，动态优化工艺参数（如温度、压力）以提升良率。
8	产线柔性配置	模块化产线设计模型	通过标准化设备接口与可重构布局，快速响应多品种小批量生产需求。
9	产线柔性配置	自适应控制算法	基于实时订单数据动态调整产线参数（如节拍、工位分配）。
10	产线柔性配置	动态产线平衡仿真模型	根据订单优先级与设备负载，自动分配工序任务以最小化生产周期，提升利用率 10%-20%。
11	产线柔性配置	可重构设计算法模型	基于约束满足算法，自动生成可扩展的产线布局方案，支持未来产能升级（如新增工作站无需整体改造）。
12	人机协同作业	协作机器人安全交互模型	定义人机交互的安全距离、动作规则与紧急制动策略，确保操作安全。
13	人机协同作业	人机任务分配优化模型	基于任务复杂度与人员技能水平，动态分配人机协作任务。
14	人机协同作业	机器人轨迹规划算法模型	采用多种算法模型，优化机器人运动路径，规避动态障碍物，路径长度缩短 20% 以上。
15	在线智能检测	机器视觉缺陷检测模型	基于深度学习识别产品表面缺陷（如划痕、裂纹），支持实时分类与报警。

序号	场景	知识模型	描述
16	在线智能检测	多传感器融合分析模型	整合视觉、力觉、声学数据, 提升复杂场景下的检测精度。
17	在线智能检测	视觉识别算法模型	基于深度学习框架等, 可实现高精度OCR(字符识别)与姿态估计(6D位姿检测)。
18	设备运行监控	设备健康管理模型(PHM)	基于振动、温度等传感器数据, 预测设备剩余寿命与故障风险。
19	设备运行监控	边缘计算分析模型	在设备端实时处理数据, 降低云端传输延迟, 支持快速响应。
20	智能仓储	仓储数字孪生模型	模拟仓库布局、货物流转路径, 优化库存分布与AGV调度策略。
21	智能仓储	动态库存优化算法	基于需求预测与实时订单调整库存策略, 减少积压与缺货。
22	精准配送	路径规划优化模型	结合交通、订单优先级与车辆负载, 生成最优配送路线。
23	精准配送	实时调度决策模型	基于物联网数据动态调整配送任务(如插单、异常处理)。
24	虚拟验证与中试	虚拟样机仿真模型	在虚拟环境中验证产品功能与性能, 减少物理样机成本。
25	虚拟验证与中试	多物理场耦合仿真模型	分析机械、热、电磁等多场耦合效应, 验证复杂产品可靠性。
26	数智精益管理	精益六西格玛分析模型	结合数字化工具识别浪费点(如等待、过量生产), 量化改进效果。
27	数智精益管理	实时价值流分析模型	通过IoT数据动态映射价值流, 识别瓶颈环节并优化资源分配。
28	工业信息安全管控	威胁情报共享模型	集成内外部威胁数据(如漏洞库、攻击特征), 实时更新防护策略。
29	工业信息安全管控	零信任安全架构模型	基于身份认证与动态权限控制, 防止未授权访问(如OT网络入侵)。
30	工业信息安全管控	异常流量检测模型	利用深度学习识别网络流量中的异常行为(如DDoS攻击、数据泄露)。
31	工业信息安全管控	安全事件自动化响应模型	预设响应规则(如隔离设备、关闭端口), 实现攻击事件的秒级处置。

5、工具软件清单

序号	工具软件	描述	投入区间 (万元)	国产/进口
1	企业资源计划系统 (ERP)	覆盖生产、库存、供应链、财务等子系统管理，支持智能排产与数据协同的资源调配综合软件	100-300	国产
2	工业安全防护系统	工业防火墙与入侵检测	20-50	进口/国产混合
3	智能安防监控系统	集成人脸识别、行为分析，保障生产安全	20-50	国产
4	工控系统漏洞扫描工具	工业协议安全检测	10-30	国产
5	工业大数据平台	海量数据存储与实时分析	500-200	进口/国产混合
6	产品生命周期管理系统 (PLM)	产品生命周期管理软件，支持设计到生产的全流程协同	100-300	进口为主
7	UG-NX	3D 建模设计软件	50-100	进口
8	ANSYS	有限元分析软件	50-100	进口
9	计算机辅助工程仿真分析软件	产品结构强度、热力学等性能模拟	50-100	进口为主
10	结构动力学分析系统	优化产品抗振动性能	50-100	国产
11	多物理场联合仿真系统	模拟极端环境对产品性能的影响	100-300	进口为主
12	面向制造的设计分析软件 (DFM)	验证产品设计是否符合制造工艺要求	50-200	国产
13	线束设计软件	航天器线缆布局与仿真工具	30-50	国产
14	试验/测试数据管理系统 (TDM)	测试数据管理与分析平台，支持多源数据采集、实验流程优化与报告生成	50-200	国产
15	生产排程优化软件	基于算法的智能排产	100-500	国产
16	制造执行系统 (MES)	全链智能化制造执行系统，集成物联网与 AI 技术	100-300	国产

序号	工具软件	描述	投入区间 (万元)	国产/进口
17	数据采集与监视控制系统 (SCADA)	实时采集生产设备数据并可视化	50-100	国产
18	设备集控平台	设备监控、数据采集	50-200	国产
19	仓库管理系统 (WMS)	数字化仓库管理系统，支持库存动态调度与预警	20-60	国产
20	物流调度系统	车辆调度、路径规划、交通管制等	30-60	国产
21	卫星工具包 (STK)	航天任务仿真与分析平台，支持卫星轨道设计、通信链路分析、空间任务规划等	80-150	进口
22	质量管理系统 (QMS)	全流程质量管理软件，覆盖从原料检验到成品追溯	50-150	进口/国产混合
23	ENVI	遥感图像处理平台，支持多光谱/高光谱数据分析，适用于卫星影像分类、变化检测等场景	100-500	进口
24	ERDAS Imagine	专业遥感与地理空间分析软件，支持卫星影像处理、三维建模及 GIS 集成	150-300	进口
25	QGIS (含遥感插件)	开源地理信息系统，通过插件扩展支持卫星影像分类、植被指数计算等分析	50-100	进口/国产混合
26	ArcGIS Earth	三维地球可视化工具，集成卫星影像与北斗网格数据，支持空间分析与动态建模	50-200	进口
27	卫星测控管理系统	支持多星协同测控、数据接收与指令调度，适用于商业卫星星座运营	200-400	国产为主
28	卫星数据安全加密系统	保障卫星通信与遥感数据传输安全的国产加密工具，支持端到端防护	100-300	国产

6、网络化联接设备清单

序号	适用场景	设备名称	主要功能	投入区间 (万元)	国产/进口
1	数据采集	PLC 控制器	生产线逻辑控制与自动化管理	0.2-3	国产/进口
2	数据采集	工业网关	设备协议转换与数据采集	0.2-2	国产
3	数据采集	工业总线模块	支持 PROFINET/Modbus 等现场总线协议	0.5-1	国产
4	数据采集	无线控制器 (AC)	集中管理多 AP, 优化无线覆盖与负载均衡	0.2-1	国产
5	数据采集	工业传感器	温度、压力等生产参数实时采集	0.1-0.5	国产/进口
6	数据采集	RFID	设备、物料等定位与跟踪	0.1-0.5	国产
7	设备互联互通	工业无线 AP	厂区无线网络覆盖与移动终端接入	0.5-2	国产
8	设备互联互通	工业交换机	设备数据集成	0.2-1	国产
9	设备互联互通	工业路由器	跨区域设备远程数据传输	0.05-0.5	国产
10	设备互联互通	数据加密机	敏感数据端到端加密传输	2-5	国产
11	设备互联互通	光纤收发器	光电信号转换与长距离通信	0.3-1	国产
12	数据存储与备份	服务器	数据治理、数据存储	3-10	国产
13	数据存储与备份	NAS 存储设备	分布式数据存储与容灾备份	5-20	国产
14	数据存储与备份	UPS 电源	断电保护与电力稳定供应	0.5-5	国产
15	工业信息安全管控	入侵检测系统 (IDS)	实时监控网络异常行为与攻击防御	5-10	国产
16	工业信息安全管控	防火墙	网络安全逻辑隔离及安全控制	2-4	国产

序号	适用场景	设备名称	主要功能	投入区间 (万元)	国产/进口
17	工业信息安全 管控	VPN 设备	加密远程访问与身份认 证	2-8	国产
18	工业信息安全 管控	安全事件分析 (SIEM 系统)	日志聚合与安全威胁智 能分析	5-15	国产
19	工业信息安全 管控	工业网闸	隔离不同安全域网络， 单向数据传输	0.5-3	国产
20	安全监控	工业摄像头	内部厂区安全监控及安 防	0.5-2	国产

7、行业数字化转型人才技能清单

序号	技能类型	描述
1	通用技术-工业物联网（IIoT）与设备互联技术	掌握传感器技术、工业通信协议（如 OPC UA、Modbus）、边缘计算设备部署，能够实现设备数据采集与实时监控。通过 PLC 编程优化产线设备互联，利用 SCADA 系统实现生产状态可视化。
2	通用技术-数据分析与人工智能	熟悉 Python/R 语言、大数据处理框架（如 Hadoop/Spark）、机器学习算法（如分类、预测模型），可开展设备数据预测性维护（如轴承故障预测）、生产排程优化。
3	通用技术-自动化与机器人集成	工业机器人编程（如 Fanuc、KUKA）、数控机床参数优化、AGV 调度算法设计，设计柔性产线，实现多品种小批量生产的快速换型。
4	通用技术-工业软件与系统集成	了解 ERP、MES/MOM、PLM 的使用、配置与二次开发，掌握 OPC UA、MQTT 等协议实现 IT/OT 系统融合，构建数字孪生工厂。
5	通用技术-网络安全与工控防护	熟悉工控安全标准、工业防火墙配置、数据加密传输、保密管理要求等。
6	专业技术-卫星总体设计	掌握航天器系统级设计方法，具备从任务目标到子系统指标的需求分解与验证能力，了解姿态控制系统、推进系统、电源系统、载荷集成能力等。
7	专业技术-星间通信组网	精通 CCSDS、DTN 等空间通信协议，掌握激光/毫米波星间链路组网技术。
8	专业技术-火箭设计与发射	精通液体/固体发动机设计，掌握重复使用火箭热防护、推力调节技术。
9	专业技术-地面系统与测控	设计分布式地面站网络，掌握 S/X/Ka 频段天线控制技术，熟悉卫星测控协议（如 CCSDS）。
10	专业技术-遥感图像增强与识别	基于人工智能算法的遥感图像实时增强、目标识别算法，掌握星上边缘计算框架。
11	专业技术-天地一体化网络安全	掌握星地系统联合攻防技术，具备量子加密、区块链技术在遥测遥控中的应用能力。
12	管理技术-数字化转型战略规划	运用 TOGAF 或智能制造成熟度模型，制定分阶段“智改数转网联”实施路线图。
13	管理技术-项目管理与协同	针对“智改数转网联”实施项目的计划、质量、沟通协调管理和内外部协同。

序号	技能类型	描述
14	管理技术-精益生产与流程重构	基于精益管理理念，应用价值流图（VSM）识别非增值环节，通过数字化手段实现流程自动化。
15	管理技术-供应链管理协同	主导成本和价格管理、供应链质量体系的建设和实施，基于品类管理建立分层分类管理体系，完成品类策略、供应商偏好分析，制定细分的供应商关系管理策略，提高供应商队伍健康度和合作意愿。

附件 3：典型案例

案例 1：银河航天科技(南通)有限公司

一、企业简介

银河航天科技（南通）有限公司作为银河航天的核心业务主体，涵盖研发、制造、应用等领域的卫星互联网产业项目，牵引带动以卫星制造、卫星应用为代表、多领域融合的空天产业生态。

主要产品包括：

- (1) 低轨高性能通信卫星
- (2) 平板构型卫星
- (3) 合成孔径雷达（SAR）卫星
- (4) 低轨高性能通信卫星中型组网卫星

近年来，银河航天逐步部署了 ERP、MES、APS、WMS、QMS、AGVS 等核心信息化平台，在设备管理、质量管控、仓储物流、生产作业、计划调度等环节开展了“智改数转网联”实施工作，获得了三星上云企业、2024 年江苏省智能制造车间企业等称号。

二、主要做法

银河航天自主开发了制造信息系统，作为整星生产线的控制中枢，对多星混线的柔性生产提供资源调度，对有人参与的生产过程进行智能管控，确保整星生产线各个站点高效、有序运行，最终成功实现整星生产线产能目标。

(1) 智能仓储

自动化立体仓库实现物料高密度存储，同时配备环境监控传感器，满足卫星制造中物料对防震、温湿度的特殊要求。物料以托盘为单位，结合条码或 RFID 技术进行管理，确保精准定位和全程追踪。通过人工智能算法优化库存管理和任务分配，动态调

整库存水平和采购计划，提升仓储效率。



图 32-自动化立体库

(2) 机器人协同作业

针对卫星总装集成需求，基于通用工业机器人，开发了柔性化、智能化装配系统。通过末端受力感知和柔性力控技术，机器人可适应复杂多变的装配工况。机器人与人通过力感应交互，结合机器人载重量大、运行稳定、精度高的优势，以及人灵活的观察和操作能力，共同完成装配任务，满足卫星总装的复杂需求。



图 33-卫星智慧工厂现场图

(3) 在线智能检测

通过集成精密转台、光电自准直仪、升降平台等设备，结合先进

的 CCD 视觉引导和自动化控制算法，能够实现卫星部件的全自动化测量，能够大幅提升测量精度和效率，还能够适应不同型号卫星的柔性测量需求，确保生产线的高效运转。

（4）设备运行监管

通过在设备上部署传感器，实时采集设备运行信息，并借助数据管理平台进行算法分析，实现对设备的物料数据、运行状态、维护维修记录、维护追溯和故障报告等信息的在线监管。该系统能够实时反映设备的运行状况和待维护状态，可以将设备物料管理实现数字化。

三、主要实施成效

智能仓储物流系统将仓库空间利用率提高了 25%、物料搬运效率提高了 40%，库存准确率达 99% 以上，同时减少了 60% 的物料运输人力成本，实现了仓储、生产、供应链的协同管理。卫星总装集成技术利用机器人装配和自动化精测系统，将安装界面接触力控制在负载重量的 1% 以内，确保装配精密与安全，同时实现高精度测量，满足生产线脉动节拍要求，显著缩短装配周期，降低成本。在线监管减少了现场检查的频率和人力资源需求，能够及时发现异常情况，提高了监管效率。

案例 2：南京晨光集团有限责任公司

一、企业简介

南京晨光集团主要承担产品装配、结构件制造、伺服机构研制生产、地面设备制造等任务，现拥有精密加工、精密成型、数字化制造等十二大类工艺专业技术，检测和校准实验室、理化分析和无损检测研究所均取得了国家和国防科技工业实验室认可证书，具备较强的综合工艺制造技术实力。

南京晨光集团依据“建成世界一流的航天装备创新型智慧企业”的中长期发展目标，开展航天装备智能工厂建设，以数字化转型为牵引、以两化融合标准为指导，按照公司总体架构，以业务集成驱动系统集成，开展生产组织模式变革、智能化产线建设、数字化平台建设与集成、基础设施及网络安全建设等，实现业务的全流程数字化、智能化集成，提升生产能力、管理精细化水平及产品质量一致性。

二、主要做法

装备方面，建成筒段柔性生产线、筒段装配生产线、总成对接生产线、自动喷涂生产线、伺服作动器装配测试生产线、伺服整机测试线、复材数字化生产线等十余条数字化生产线，实现了智能化生产和人机协同；数字化平台建设方面，完成数据中心建设、ERP 升级、MOM 升级、面向生产现场的状态管控模块、数字化检测系统、实验室信息管理系统等建设，实现了企业级 PLM、ERP、MOM、QMS、PLS、车间级的 WMS、SCADA、产线管控系统等集成，实现了数据链路的贯通；网络基础设施方面，以“可靠运行、信息共享、高效传输、安全可控”为原则，构建满足业务需求的高效信息基础设施，包括网络环境、计算环境、安全防护体系等。

（1）智能协同作业

建设的大型筒段结构件自动化装配生产线，针对部件装配和总成对接任务，采用现代工业工程方法，结合产线布局优化、工艺分析和仿真技术，搭建了基于柔性装配工位、人机协同装配和数字化管控的全流程数字化生产系统。通过引入高级排产系统（APS）实现多型号混线生产任务的智能排产，工艺文件同步下发表至装配工位。利用自动物流 AGV 配送物料，集成工业摄像头、高清相机和力矩扳手等设备，实现生产数据的自动化采集与记录。



图 34-人机协作装配及筒段自动对接

（2）网络协同制造

南京晨光集团通过跨单位协同研发平台，应用数字化系统和流程实现了设计、制造数据异地跨单位“双向打通”，实现技术文件异地线上会签、正式数据发放与技术状态变更异地协同。

（3）在线智能检测

结合产品工艺特点、产线作业特点及质检人员操作特点，深入开展智能检验检测技术应用。利用 AI+机器视觉技术，实现了基于图像识别算法的产品外观检测；对关键部件多媒体图像记录进行智能辅助判别，检查表面是否有异物，是否存在表面缺陷等质量问题；与检验三坐标、3D 光学检测、轴类自动光学检测仪等数字化检测设备集成，配合专用的检验执行终端，实现了在机检测、在线实时检测。

（4）智能仓储物流

仓储管理系统根据物流主营业务流程将盘点管理、库存管理、入库管理、出库管理等主要环节进行精准管控，条码识别、网络通信、信息系统应用等信息化技术及先进的管理方法，实现入库、出库、盘库、齐套管理的信息自动抓取、自动识别以及信息化管理功能。通过应用条码识别技术实现物料全周期管理、条码采集、柔性化暂存工位管理、过程看板监控等功能，实现对小批量、多品种标准物料的自动出、入库和高效分拣。

通过 AGV 调度系统中现场任务分配、AGV 小车分配、自动路径规划功能，集成产线管控系统、立体库系统，实现了从领用到配送的转变，减少了人力运送，缩短了物料从立体库到生产工位时间，提高了现场装配效率。

三、主要实施成效

经过近三年的建设，全员劳动生产率提升 23.8%，科研生产关键要素实现 100%数字化采集和分析应用；结构件质量数据在线智能检测率达 81.5%，生产成本降低 20%；控制部件产品数字化装调，压减手工作业工序 27.7%，作业人员减少 30%，环境试验测试、喷涂全流程实现了自动化无人值守。

案例 3：国睿科技股份有限公司

一、企业简介

国睿科技股份有限公司是由中国电子科技集团公司第十四研究所整合旗下优质产业资源组建而成的国有控股企业，公司具有完善的科研生产基础，拥有六个研发基地，总人数 1350 余人，专业技术人员占比超过 60%，博士 24 人，硕士及以上学历员工占比近 40%。公司拥有国家高新技术企业、国家专精特新小巨人企业、江苏省专精特新等荣誉资质。

南京国睿微波器件有限公司是国睿科技股份有限公司子公司，主要业务涉及雷达、卫星通讯、安检安防等领域，重点产品包括铁氧体器件、新式多功能有源/无源器件及组件、通讯无源器件等，是一家专注于微波器件和电子元器件的研发、生产、销售、技术服务等核心技术研究和应用的创新型企业。核心产品均为自主研发，拥有 13 项以上与主导产品有关的 I 类知识产权，目前已申请发明专利 13 件，已完全实际应用并产生经济效益。

二、主要做法

（1）人机协同作业

针对微带环行器产能不足、生产一致性差以及人工强度高的问题，项目依据产品特性构建了微带自动化产线，以满足超宽带项目对产能的需求。该产线对传统手工作业进行了自动化改造，涵盖贴片、焊接、磁钢粘接、自动穿螺杆等关键工序。高精度贴片机可以精准的进行载片、焊片、基板、磁钢的贴放；使用在线式一体化焊接设备代替离线式的 ATV 焊接炉，可以有效提升焊接效率；使用自动穿螺杆机设备将人工穿螺杆工序自动化。

（2）系统协同制造

企业通过系统集成与流程优化，构建了跨系统协同平台，实

现 ERP、MES、PDM 等系统的互联互通，确保生产计划、工艺文件和质量数据的自动调用与共享。同时，强化生产全流程管控，优化排产逻辑，结合 MES 在线监测和智能协同技术，探索柔性制造模式，提升资源利用率和响应速度。此外，利用 PDM 系统对卫星器件模块库进行标准化分类，便于新项目开发时调用成熟方案。

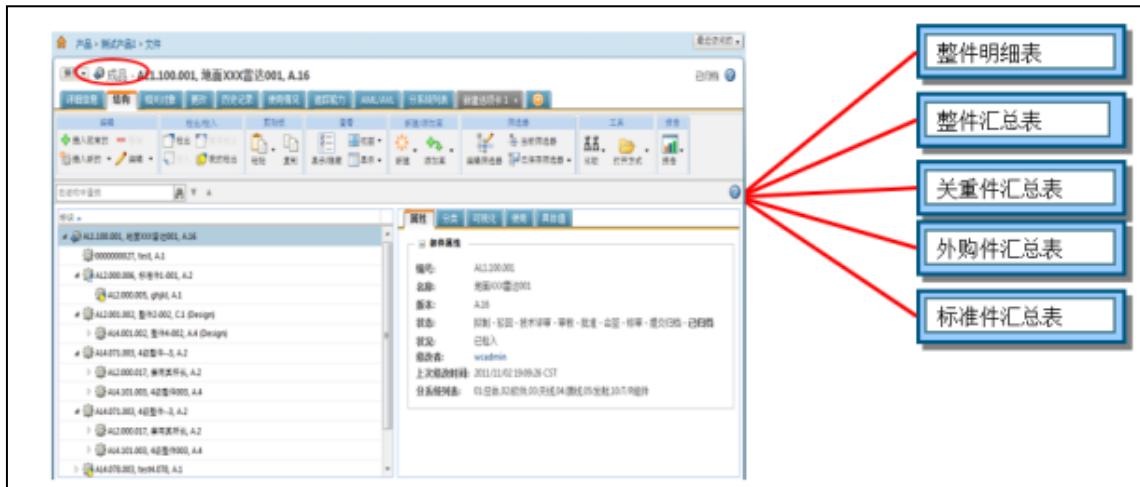


图 35-产品数据管理系统

(3) 数智精益管理

在典型场景中应用 AI 算法，实现智能设计与智能决策。公司利用 AI 设计技术整合机械、电子、材料等多学科参数，优化复杂系统的集成设计，从而大幅提升研发效率。AI 通过深度学习算法，根据功能需求自动生成符合规范的芯片架构或机械结构，减少人工设计时间并降低错误率。同时，利用历史工艺流程数据训练模型，识别设计瓶颈并提出改进方案，例如优化卫星器件布局以减少冗余结构重量。此外，AI 算法可对电路路径、功耗等参数进行联合优化，确保性能与能耗达到最优平衡，并针对极端环境（如太空辐射、高温）自动调整材料选择与结构设计。公司还构建了跨领域知识库，自动推荐已验证的设计方案或专利技术，减少重复研发投入。在设计阶段嵌入生产工艺要求（如公差范围、装配

顺序），通过 AI 预测并规避量产中的兼容性问题，降低产品返工成本。

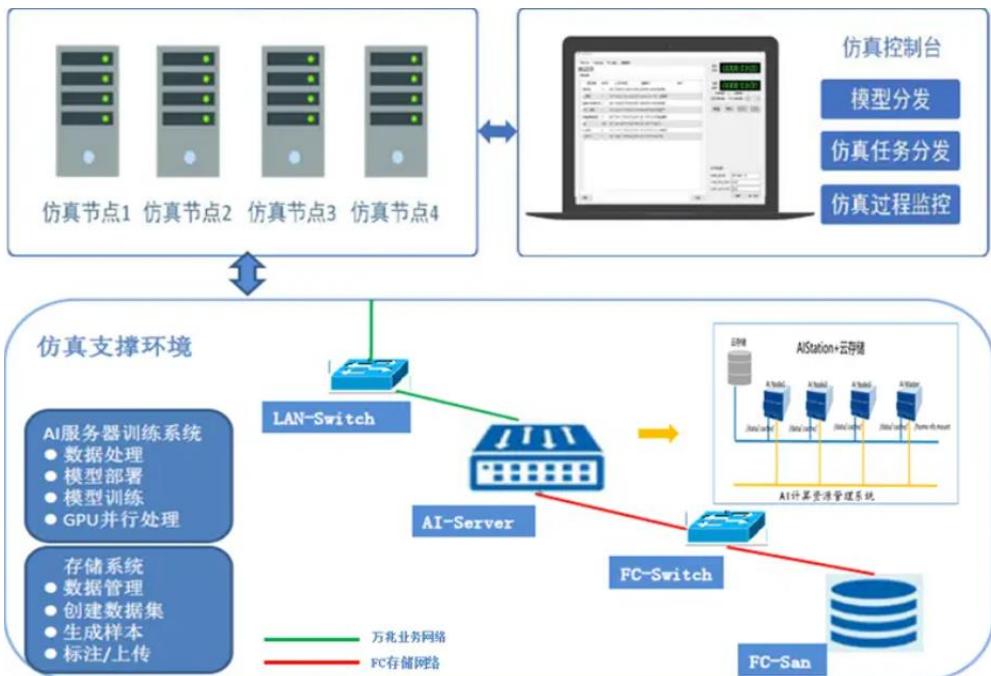


图 36-基于人工智能算法的仿真示意图

三、主要实施成效

通过该车间改造建设应用，实现了卫星相关产品研发、供应链、制造、服务、决策模式的创新。其中建立微带半自动化产线，使环行器生产能力从原来 500 只/天，提升至 6000 只/天，满足批生产要求的同时，节约至少 4 个人工。

通过公司信息化系统集成与流程优化等数字化转型实施，实现了生产效率提高 30%、运营成本降低 2%、产品研制周期缩短 50%，产品固有可靠性（MTBF）提高 10%。

案例 4：北方信息控制研究院集团有限公司

一、企业简介

北方信息控制研究院集团有限公司在卫星领域承担了基准站的建设、数据处理子系统、播发系统的研制及系统测试任务，形成 2 项国家标准、6 项北斗专项标准。是全国第五家国家级北斗产品质检中心，规划建设北斗高精度检测能力，建设有卫星导航产品有线检测平台、卫星导航产品无线检测平台、导航天线检测平台、对天静态检测平台、室外动态检测平台、环境适应性检测平台、电磁兼容性检测平台、北斗高精度位置服务产品检测平台等 8 个专业检测平台，提供北斗高精度从产品到系统一站式检测服务。

二、主要做法

（1）智能产线建设

信息院集团围绕产品业务的多品种、个性化、高效能的特点，不断探索先进制造技术应用和“黑灯”工厂建设，已经建立核心制造生产线主要包括机械加工、光学加工、电缆组件装配、信息侦测产品装调、电子产品装调、火控系统装调等多条产品装配线和指控系统总装总调线、检验试验线。其中公司新建电子通讯类产品高自动化生产线，包括来料检验、线边自动仓储、辅料装配机台、组装生产线、全自动测试线。同时，为适应科研小批量产品试制需求，建设一条自动化物流流转、信息化过程记录的人工装配生产线，以强化分工序作业、过程质量控制记录，提升产品质量一致性和可追溯性。

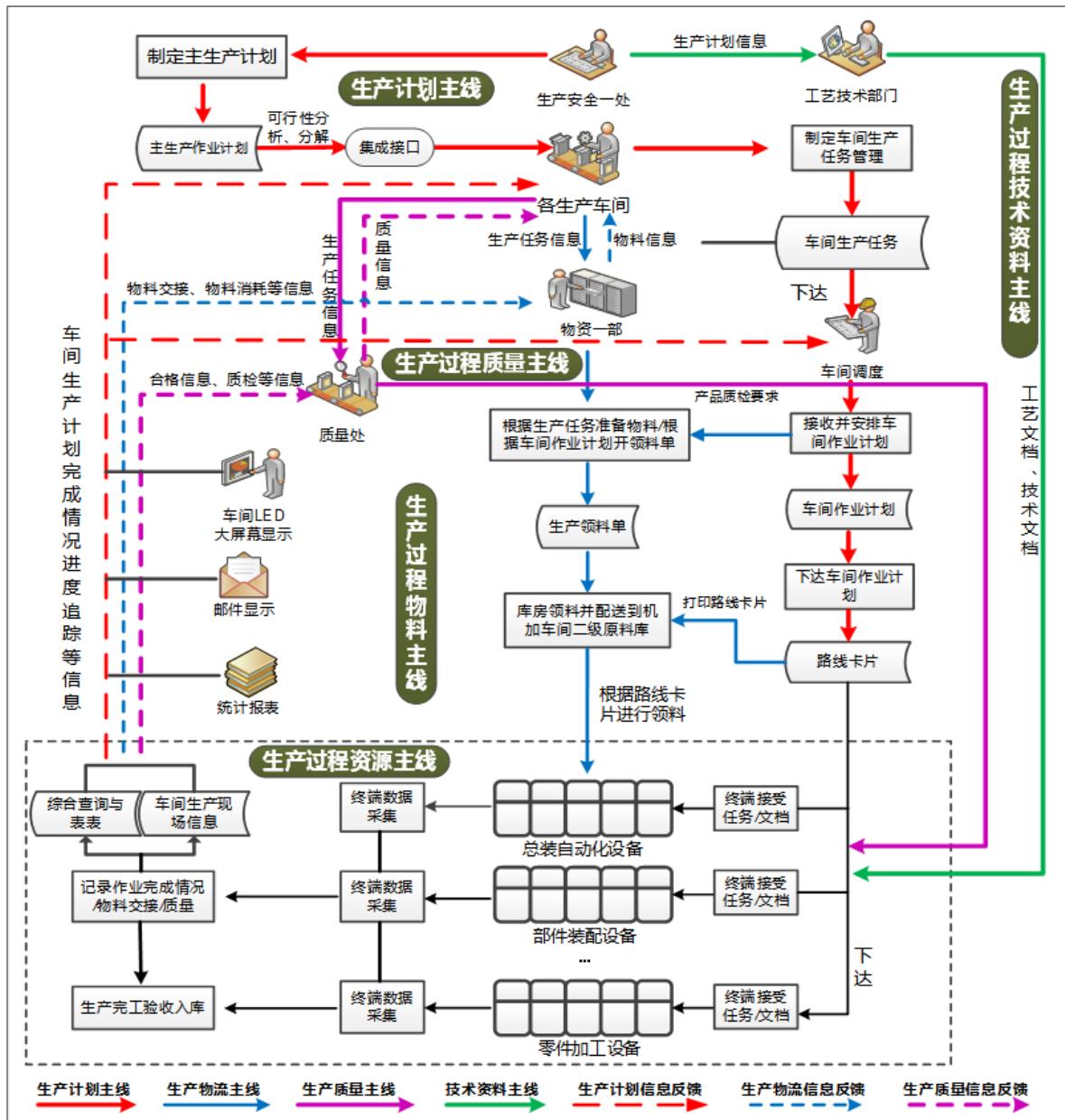


图 37-数字化产线

（2）智能仓储

公司针对金属原材料、电子元器件、零件、产成品、辅料及其他各类物资，按照不同类别和存储需求，分别建设了料箱库、托盘库、垂直升降库等多种形式的自动化仓储库区。这些自动化仓储设施通过先进的物流设备和技术，实现了高效、精准的货物存储和存取操作，显著提升了仓储空间利用率和物流效率。通过

仓储管理系统，公司能够对所有品类的物资库存进行实时动态管控，确保库存数据的准确性、完整性和及时性。

（3）精准配送

公司以 **ERP** 系统中的生产计划为总牵引，根据生产需求在 **WMS** 中生成相应的出库指令，并安排物料配送。在生产现场，操作人员通过 **MES** 进行收货确认，确保物料信息的准确性和及时性。此外，部分生产线内部实现了从线边物料存储区到操作工位的 **AGV** 自动配送功能，进一步提高了物料配送的效率和精准度，减少了人工干预，优化了生产现场的物流管理。

（4）能源智能管控

建立公司绿色园区能源智慧管控平台，通过分布式表、闸实现水、电、气、蒸汽实时化管控，检测消耗量，监控跑冒滴漏现象，开展资源优化配置整改。

三、主要实施成效

通过生产线及信息化系统的建设，实现了日常生产运营管理流程电子化率达到 95% 以上，生产线作业平衡率提升至 89% 以上，生产效率提升 15% 以上，产能提升 35% 以上，产品一次交验合格率均达到 95% 以上。比如部分典型产品零件实现了夜班无专人值守生产，生产线内机械加工设备利用率提高了 20%，同时提高了产品一致性和产品质量，零件加工一致性提高了 15% 以上。

案例 5：南京电子设备研究所

一、企业简介

南京电子设备研究所主要产品系统有综合电子信息对抗系统与装备；技术侦查情报系统与装备；空间飞行器有效载荷；武器配套电子对抗装备；红外与光电对抗装备；通用电子战装备；电磁环境模拟训练和检测设备等电子对抗产品的研发设计、仿真试验与试制量产，现有博士 76 名，研发人员占比 70% 以上。

南京电子设备研究所拥有先进的精密仪器、仿真手段、电磁环境模拟，已建成微波集成生产线及 SMT 生产线，已建成一流设计、工艺和生产能力的“微波集成中心”。建成万级无尘净化间（微波小型化及芯片集成生产调试），具备武器装备研制生产所需的各项环境试验条件，建有国内领先水平的空间环境试验平台，具备开展航天装备预研、型号工程研制、装备批量生产的能力。

二、主要做法

（1）系统协同制造

南京电子设备研究所以价值导向为牵引，在信息化应用建设过程中，逐步部署了 ERP、PDM、MES、OnRoad、IDS、TDM、物品编码管理系统、MPM 结构化工艺系统、质量管理系统、驾驶舱门户系统等系统，并通过系统的升级优化与系统集成应用，实现了智能决策与管理以及科研生产与质量的智慧管控。南京电子设备研究所持续完善信息安全管理，对信息安全进行全过程管理和防范，同时充分结合现代化管理技术、数字技术、工业自动化技术，实现数据的标准化管理、数据采集自动化以及对主营业务领域内生产经营活动的集成融合、动态协同和一体化运行的支撑。

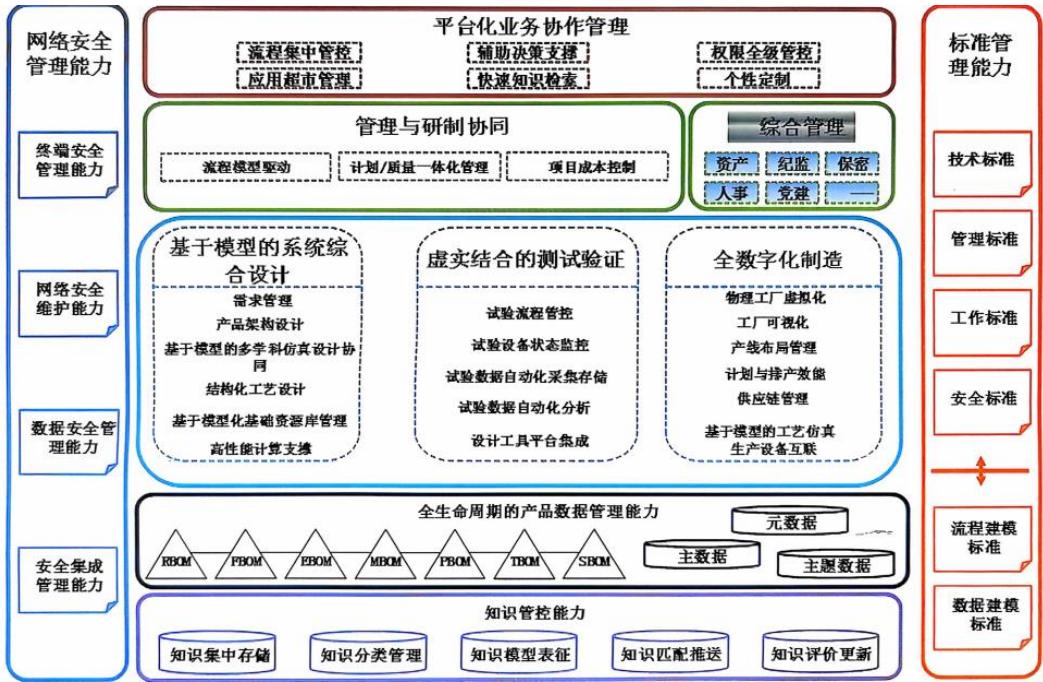


图 38-南京电子设备研究所智慧总部顶层架构

(2) 人机协同作业

南京电子设备研究所利用自动化技术、物联网技术，通过产线自动化、半自动化设备的不断改造和投入以及设备联网，满足智能制造硬件要求，通过健全 SMT 表贴生产线，实现全流程在线检测；加强电缆组件焊接的自动化程度，实现电装工序焊点的 100% 检测与受控；针对典型工序、产品建设柔性智能生产线，重点针对弹载批量产品建设自动化生产线，突破生产工艺，提高产品质量和可靠性，实现传统制造向智能化制造的转型。通过智能化生产线及数字化装备、车间互联网络、制造执行系统、自动化物流系统的建设，构建智能化车间，实现了航天电子产品在检测、焊接、测试、装配等生产过程的数字化、自动化和智能化，提升了工艺装备的运行效率，降低了工序能耗，大大的降低现场劳动强度，提高了各生产单元的生产效率。

(3) 工艺数字化设计

公司通过开展可视化和参数化工艺设计，提升了工艺文件的

可指导性和设计效率，同时确保了工艺文件的一致性。借助仿真工具，持续推进基于 MBD (Model-Based Definition) 的设计制造一体化模式，打通了产品从三维设计到工艺设计再到制造过程的全生命周期数字链路，推动了工艺可视化的落地应用，并促进了工艺设计的转型升级。此外，通过梳理电缆、印制板等产品的通用工艺，建立了标准工艺/标准工序库，工艺师可直接调用库中的内容进行快速结构化工艺设计，进一步提高了工艺设计的效率和标准化水平。

三、主要实施成效

通过信息系统集成、智能产线建设、仿真系统建设、工艺数字化设计建设满足了公司多产品、多任务制造需求，实现了自动在线监测和信息化管理以及提高了分系统制造可追溯性，有效缩短了产品研制周期。随着“智改数转网联”实施的不断完善，公司技术状态管控产品覆盖率提高了 5%，总装一次齐套率提高了 6%，订单按期交付率提高了 7.6%，劳动生产率提高了 3.5%，综合成本降低了 2%。

案例 6：江苏屹信航天科技股份有限公司

一、企业简介

江苏屹信航天科技股份有限公司致力于研发和生产高可靠的航空航天器电子设备并提供整体技术解决方案，应用于星载、机载等多种平台，产品覆盖通信、雷达等多个领域，具有小型化、低成本的特点。目前研发生产基地拥有独立的研发和生产用微组装工艺线、超净实验间、微波暗室，建有 DC-110GHz 集设计、仿真、工艺、测试、试验于一体的综合电子产品研发中心和生产线。

公司先后通过“国家级高新技术企业”、国家级专精特新“小巨人”企业认定，通过 GJB9001C-2017 质量管理体系认证，取得了国防计量技术机构许可证，并获评国家级科技人才计划创业领军人才、江苏省工程技术研究中心、江苏省工程研究中心、江苏省企业技术中心、江苏省研究生工作站、江苏省民营科技企业、江苏省潜在独角兽等称号。

2021 年至今，累计交付宇航电子产品超 500 台套，其他电子产品千余台套。仅 2024 年，公司已为几十颗在轨卫星配套物联网载荷，在轨工作稳定可靠。公司研制的物联网载荷产品实现了地面终端数据采集和多终端通信功能，其星载天线、射频电路、数字电路及软件算法均为自主研发，具有并发信道多、系统容量大、抗干扰能力强等特点。

二、主要做法

（1）虚拟验证与中试

企业通过模块化设计建立模块库，对已设计和验证的模块进行分类存储与管理。生产过程中，依据设计要求将模块组装并连接，形成完整的卫星载荷设备，并对其进行全面功能测试，确保各模块协同工作正常，且符合设计要求，实现载荷预期功能。此

外，公司搭建统一的研发和测试平台，为不同项目提供共享资源和环境，降低验证成本。该平台可模拟卫星在轨运行的空间环境，对载荷进行包括温度、湿度、振动、冲击、真空、辐射等环境适应性测试，检验其在恶劣环境下的稳定性和可靠性。

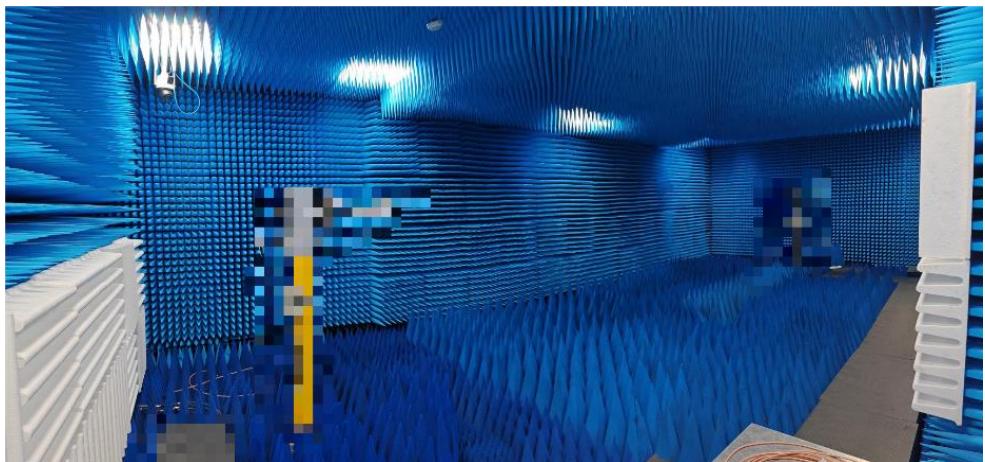


图 39-微波暗室

（2）产品数字化研发设计

通过数字化设计仿真工具，模拟卫星载荷在太空中面临复杂环境，在设计阶段进行多次虚拟试验，提前发现潜在问题。实施验证时，利用专业的仿真软件，模拟信号在从卫星到地面站或其他卫星的传输过程中，由于距离、大气吸收、散射等因素导致的信号强度衰减。通过建立精确的传播模型，分析不同频段、不同传输距离下的路径损耗情况，为确定发射功率和接收灵敏度提供依据。

（3）数智精益管理

公司建设了智能可观测生产平台，可以实时监管在产品制造的各个关键生产环节。如观察卫星零部件的加工进度、装配流程的完成情况等，及时发现生产过程中的延误或停滞，以便采取措施进行调整，确保生产计划按时完成。系统记录生产过程中操作步骤和相关数据，包括操作人员、设备运行参数等信息，确保生

产过程的规范性和安全性。当出现质量问题时，可通过监控系统快速追溯到问题的根源，为质量问题的分析和解决提供有力支持。



图 40-智能可观测生产平台

（4）系统协同制造

公司上线了 ERP 供应链管理系统，确保系统具备供应商管理、采购管理、库存管理、生产管理等模块，且各模块之间能够实现数据的无缝流转和共享。通过系统的集成功能，将供应商数据与企业内部的生产、销售、库存等数据进行集成，打破信息孤岛，实现数据的实时共享和交互。

三、主要实施成效

公司通过数字化设计仿真工具、ERP 供应链管理等系统的运用，创新“货架式”生产模式，加强数智精益管理，产品研制周期缩短取得显著成效。2022 年至 2024 年销售收入年均增长率 49.18%、利润年均增长率 42.6%、存货周转效率提升 54.93%。

案例 7：江苏深蓝航天有限公司

一、企业简介

江苏深蓝航天有限公司是一家以液体可回收运载火箭研发、生产及提供商业发射服务为核心业务的商业航天高新企业。深蓝航天不断革新液体可回收复用运载火箭技术，立志为国内外卫星发射市场提供性能稳定、成本低廉、智慧的星际运输系统解决方案。

深蓝航天总部位于江苏省无锡市，是深蓝航天的火箭智造总装基地；在北京亦庄设有火箭技术、液体发动机研发中心；在北京大兴设有 3D 打印制造中心；在江苏南通建有金沙制造基地；在山东济南建有液体火箭发动机、动力系统测试平台基地；在海南文昌建有发射基地和文旅教育基地；在内蒙古额济纳旗建有可回收复用飞行试验场及亚轨道旅游基地；在安徽蚌埠建有运载火箭贮箱与发动机产品生产制造基地；在福建厦门设有国际服务总部。

作为国家高新技术企业、国家军用质量标准、武器装备质量管理体系、国家保密认证企业，深蓝航天专注于“可回收复用液体运载火箭”的研发，在“可回收液体运载火箭总体设计”、“可控软着陆控制系统设计”、“变推力液氧煤油发动机”三大关键技术上持续取得突破，形成四型在研主力产品及 50 余项发明专利。

二、主要做法

（1）人机协同作业

深蓝航天选择了激光焊接夹层喷管工艺。通过升级焊接设备为机器人智能化焊接系统，增加多角度视觉传感器、激光视觉位置跟踪、弧压跟踪等，改进气动式压紧工装、优化对接环焊接结

构，完成了对接环机器人自动焊工艺攻关并实现型号应用，减少了焊接变形，提高了对接环焊接的自动化程度和产品质量稳定性。

机器人焊将无需使用内壁肋条 X 光在线定位系统，大幅度降低了设备的复杂性和成本，而且形变可控、可以直接成型。由于其柔性化程度高，可达面积大，机器人焊将还可兼顾发动机其他零组件焊接。



图 41-机器人焊接设备

(2) 工艺数字化设计场景

3D 打印技术可以直接将数字设计文件转化为实体部件，设计师可以更自由地创造复杂的几何形状和内部结构，无需考虑传统制造工艺的局限性。3D 打印可以通过一体化成型的方式大幅减少零部件的数量，从而提高火箭整体的可靠性，这种一体化制造不仅简化了装配过程，还显著降低了潜在的故障风险，从而提高了火箭的安全性和可靠性。

深蓝航天引进了全国最大的 3D 打印设备，并自主研发了适用于火箭零部件的 3D 打印工艺包，以满足航天发动机核心部件的制造需求。利用该 3D 打印设备，深蓝航天成功生产了涡轮泵离心轮、涡轮盘等产品，这些产品具有尺寸一致性好、性能偏差小的特点。

（3）虚拟验证与中试

深蓝航天建立了半实物仿真实验室，是其技术研发和验证的重要平台，主要用于模拟航天器在复杂环境中的运行状态，验证控制算法、系统性能以及硬件设备的可靠性。仿真验证既节省成本，又能大幅提高测试的效率，能够提供精准的物理反馈，如对回收段如何通过栅格舵、冷气姿控系统进行控制算法的研究，用仿真试验箭开展了火箭异地返场回收技术验证。



图 42-航天发动机仿真模型

三、主要实施成效

采用机器人辅助激光焊接，将焊接周期从 2 名人工焊接 30 天缩短至 2 天，成本降低为传统工艺的 10% 左右；半实物仿真验证及 3D 打印技术的应用有效提升了生产效率，缩短了研发周期，减少了零件数量，降低了产品的综合生产成本。

案例 8：苏州馥昶空间技术有限公司

一、企业简介

苏州馥昶空间技术有限公司是一家专注于卫星核心技术研究和应用的创新型企业。公司拥有超过 1000 平方米的洁净厂房，并配备了全套生产和测试设备。馥昶空间为国内首家民营商业卫星电源系统供应商，长期专注并深耕商业卫星产业链电源分系统，致力于为商业卫星提供低成本高可靠电源系统解决方案和产品，为卫星的各个单机和载荷提供稳定可靠的电源。

成立至今，累计为 60 多家科研院所、商业卫星公司、高校以及国外用户配套商业卫星电源系统超 260 套，实现配套卫星在轨飞行超 220 颗，在国内商业卫星电源细分领域市场占有率排第一。

馥昶空间是国家专精特新小巨人企业、国家高新技术企业、江苏省微小卫星产业创新发展联盟常务理事单位等。公司积极参与“星网”，“千帆”星座等巨型星座的组网建设，并开拓国际市场。

二、主要做法

（1）在线智能检测

公司在砷化镓太阳电池产线的工序环节中加入了视觉识别检测工序，可以实现产品缺陷在线识别和测试数据自动判定分档，提升了质量检测效率，检测结果实时反馈，支持数据统计与分析，便于企业优化生产流程，同时可以减少因人工疲劳或主观因素导致的漏检和误判，提升检测准确性。

（2）先进过程控制

公司通过对空间砷化镓太阳电池阵的现状分析，结合自动化、智能化的规划原则，完成了空间砷化镓太阳电池阵生产线的整体规划与建设。

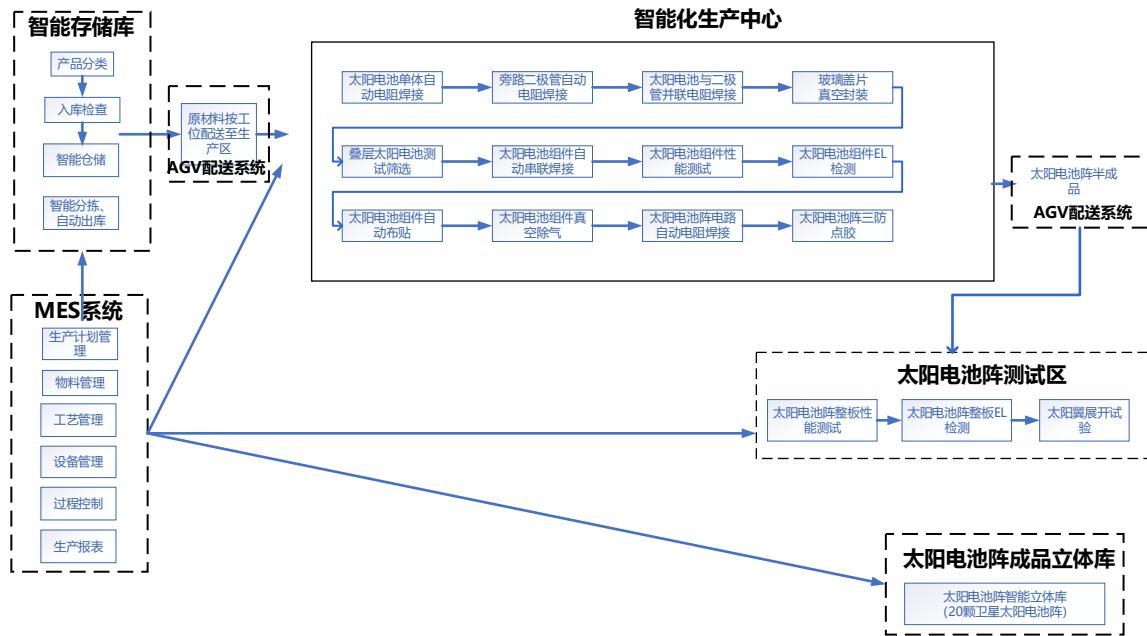


图 43 空间砷化镓太阳电池阵技术路线图



图 44 太阳电池自动化产线

在自动化生产线方面，突破了太阳电池高精度电阻焊接、玻璃盖片真空封装、大面积太阳电池阵自动布贴等关键技术，在国内率先建成了砷化镓太阳电池阵智能制造线，可以实现产品进入产线之后、离开产线之前人工零操作，实现透明、均衡、高效、优质的产品批量化生产，为配套大型星座项目打下基础。

（3）质量追溯与分析改进

公司建立了以砷化镓太阳电池二维码为载体的全过程数据采集系统，建立了完整的生产过程信息，包括产品编号、状态、批次、工艺实时参数、测试数据等信息，实现了产品全生命周期的质量精准追溯和优化改进。

三、主要实施成效

通过该智能车间建设应用，实现了太阳电池阵的生产效率提高 50%、产品良率提升 5%，成本降低 10%、产品研制周期缩短 30%。

案例 9：苏州吉天星舟空间技术有限公司

一、企业简介

苏州吉天星舟空间技术有限公司聚焦于航天光学载荷、空间光学系统、空间结构件及地面测控设备的研发与制造。其业务范围包括空间相机、星敏感器等空间光学核心产品，也涵盖星载和机载光电平台和光学设备等，广泛应用于遥感卫星、深空探测及商业航天领域。

目前已形成以苏州为总部、产品研发及星座运营中心，以长春为产品工程及生产中心以北京等办事处为拓展的辐射全国的业务布局。

吉天星舟主营业务为空间光学主载荷和高端光学器部件的研发、制造与销售；“高时效、高几何、高光谱”成像相关技术开发与服务以及数据产品销售与服务；可提供卫星系统天地一体化整体解决方案，打造集星座设计、建设以及地面系统建设、运营、应用、服务于一体的一揽子“交钥匙”工程。

公司已认定江苏省民营科技企业、工业规上企业、高新技术企业、江苏省专精特新中小企业、苏州市独角兽培育企业、江苏省三星级上云企业等多项资质，建立苏州市大数据创新应用实验室、苏州市工程技术研究中心、苏州市城市感知与智能计算实验室等资质荣誉。

二、主要做法

（1）人机协同作业

公司引入数字激光干涉仪、数字光谱仪测试系统、智能拼接仪、数字光电经纬仪等高端装备，满足航天产品微米级加工精度与特殊环境工艺要求。建设航天产品环境试验中心，集成温循试验箱、振动台等设备，试验数据自动上传至管理系统，形成闭环

质量改进。



图 45 产品样机及振动、热循环等试验

(2) 在线智能检测

吉天星舟采用数字积分球测试系统，通过数字录入方式，自动控制每片传感器的每个抽头，实现自动化测试与自动化标定。基于数字积分球测试系统采集到的大量准确测试数据，采用先进的数字标定算法对遥感载荷进行自动化标定。将遥感载荷标定时间减少了 80%，标定准确率从 95% 提升到 99%。

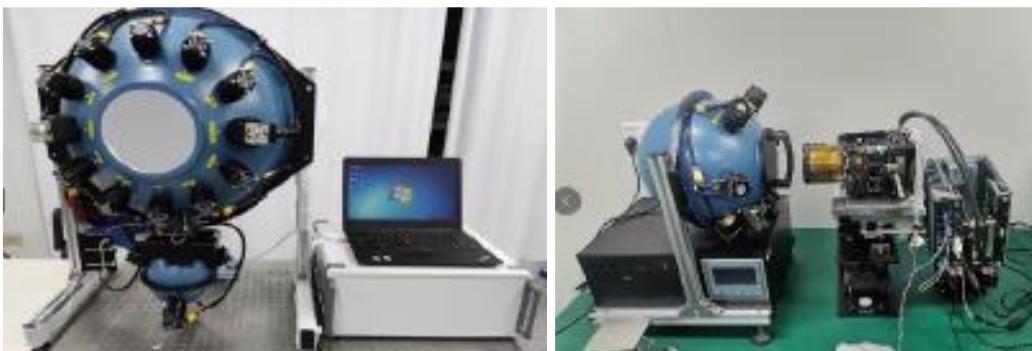


图 46 积分球及自动标定系统

(3) 产品数字化研发设计

产品数字化研发采用 UG 和 ZMAX 等软件进行空间光学相机部件的三维建模与拓扑优化设计，结合力学和热学分析软件 Ansys 开展热真空环境仿真、力学振动仿真及微重力环境下的动态性能分析，实现设计-仿真-验证的一体化。

基于数字孪生技术构建卫星光学遥感载荷高精度数字模型，

通过 LTspice 和 MATLAB 对在轨光学遥感载荷电子学信号衰减特性进行分析，优化设计参数，产品研制周期缩短 30%。

公司搭建航天知识库系统，沉淀卫星光机结构设计、空间材料选型等核心数据，支撑快速迭代研发，设计错误率降低 45%。

（4）系统协同制造

公司 ERP 系统实现航天产品多品种小批量生产的柔性排程，支持紧急任务插单响应；部署工艺测试与检测系统对精密加工、真空镀膜、传函检测等关键工序全流程管控，实现质量数据（尺寸公差、表面粗糙度）实时采集与分析；构建供应商协同平台，对特种合金、耐辐照材料等航天级物资进行全生命周期追溯；应用智能仓储系统，实现高价值航天部件批次化管理。

三、主要实施成效

通过信息化系统建设、智能化装备应用以及大数据、人工智能等技术的应用，实现了 2022-2024 年卫星部件业务营收年均增长 58%，多型号并行研制能力增强，关键技术指标一次合格率提升至 99.8%，利润率提升了 12%，供应商交付准时率提高到了 25%，计划达成率提升至 98%，产品交付周期缩短 40%，产能利用率达 92%。

案例 10：南京中网卫星通信股份有限公司

一、企业简介

南京中网卫星通信股份有限公司成立于 2000 年 6 月，是国内卫星通信行业的综合创新实力型企业，专业从事 VSAT 卫星通信系统及终端研发、设计、制造、集成、运营和服务，是国家级专精特新“小巨人”企业、国家火炬计划重点高新技术企业、江苏省软件企业。

公司以“卫星物联网服务型制造小巨人”为企业定位，以“平台+产品+服务”业务模式，专业从事多卫星通信咨询、设计、制造、集成、运维、服务、培训等，自主设计研发了 Ku 和高通量 Ku/Ka 卫星车载站、卫星便携站、卫星动中通、卫星地面站、国产自主可控卫星通信网管系统和通信机(FDMA/TDMA)，北斗、天通和卫星物联网系列终端产品，国内领先的移动气象台、北斗气象单兵、气象雷达，多通道卫星应急通信指挥系统、环保专家决策系统、智慧“海 e 通”系统、卫星远程红外体温筛查系统、卫星纳米基因测序系统、无人智能装备系统等，为客户提供投入低、利用率高、工作效率好的卫星双向宽窄带通信及应用服务。

公司以知识产权战略为核心战略，成熟掌握了国际卫星通信的前沿技术，在卫星通信、地面通信及互联网与计算机技术融合的新产业占领了新的制高点，累计申请 332 项专利，国际专利 2 项，发表论文 102 篇，6 项科技成果、75 项软件著作权及 32 件注册商标等，完成三个国家卫星通信标准编制并已公开发布。

二、主要做法

（1）云卫通公共服务平台

公司打造了云卫通公共服务平台，能够通过智能可视化管理界面，可以根据不同行业、宽带和窄带客户类别进行用户管理，

实现了实时监控终端模块的运营状态和设备在线情况。该平台具备远程管理、诊断终端设备及系统维护等功能，采用分类管理和模块化设计，建立数据库，实现了用户数据存储及闭环信息处理，确保了数据逻辑清晰、可追溯。

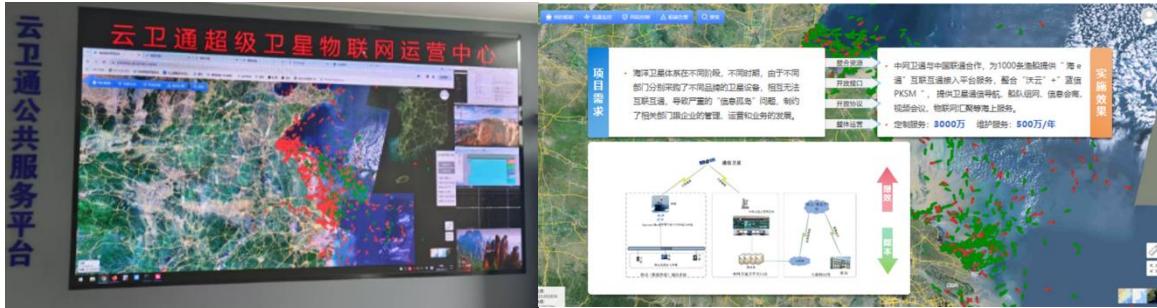


图 47 云卫通公共服务平台

(2) 系统协同制造

公司上线了 ERP 综合管理系统，涵盖供应链、财务、市场和项目管理等功能，系统包含供应商管理、采购管理、库存管理、生产管理、财务结算和项目管理等模块，并实现了各模块间数据的无缝流转与共享。通过系统集成，可以将供应商数据与企业内部的生产、销售、库存等数据进行整合，打破了信息孤岛，实现了数据实时共享与交互。



图 48 综合管理平台

三、主要实施成效

公司借助云卫通公共服务管理平台及综合管理平台等信息化系统，实现了市场、项目、生产、采购、物流与服务的全流程闭环管理，强化了数智精益管理，显著提升了管理效率并实现了降本增效。在 2023 至 2024 年间，公司销售收入年均增长率达到 80.6%，利润年均增长率达到 25.2%。

附件 4：服务商目录

序号	名称	所在地	主营业务及优势
1	徐工汉云技术股份有限公司	江苏省徐州市	工厂数字化设计与交付、数智精益管理、设备运行监控
2	合肥工业大学智能制造技术研究院	安徽省合肥市	工厂数字化设计与交付、网络协同制造
3	深圳华龙讯达信息技术股份有限公司	广东省深圳市	工厂数字化设计与交付
4	中国机械工业第六设计研究院有限公司	河南省郑州市	工厂数字化设计与交付
5	北京安世亚太科技股份有限公司	北京市	数字孪生工厂运营优化、虚拟验证与中试
6	上海工业自动化仪表研究院有限公司	上海市	数字孪生工厂运营优化、产品智能运维、工业信息安全管控
7	华为技术有限公司	广东省深圳市	数字孪生工厂运营优化、先进工业网络应用
8	北京神舟航天软件技术股份有限公司	北京市	产品数字化研发设计、工厂数据资源管理
9	南京国睿信维软件有限公司	江苏省南京市	产品数字化研发设计、虚拟验证与中试
10	北京数码大方科技股份有限公司	北京市	产品数字化研发设计、虚拟验证与中试
11	北京索为系统技术股份有限公司	北京市	产品数字化研发设计、虚拟验证与中试
12	北京云道智造科技有限公司	北京市	产品数字化研发设计、虚拟验证与中试
13	重庆励颐拓软件有限公司	重庆市	产品数字化研发设计、虚拟验证与中试
14	南京维拓科技股份有限公司	江苏省南京市	产品数字化研发设计、工艺数字设计、计划调度、供应链协同、企业经营决策
15	上海优集工业软件有限公司	上海市	工艺数字化设计、可制造性设计
16	江苏金陵智造研究院有限公司	江苏省南京市	可制造性设计、生产计划优化、产线柔性配置、人机协同作业、数智精益管理、设备运行监控、智能仓储

序号	名称	所在地	主营业务及优势
17	鼎捷软件股份有限公司	上海市	生产计划优化
18	上海汉得信息技术股份有限公司	上海市	生产计划优化
19	南京国格信息科技有限公司	江苏省南京市	智能排产调度、质量追溯与分析改进
20	上海电气集团数字科技有限公司	上海市	智能排产调度、产品智能运维
21	上海数策软件股份有限公司	上海市	智能排产调度、供应链计划协同优化
22	南京埃斯顿自动化股份有限公司	江苏省南京市	产线柔性配置、人机协同作业
23	南京优倍自动化系统有限公司	江苏省南京市	产线柔性配置、人机协同作业
24	中电鹏程智能装备有限公司	江苏省南京市	产线柔性配置、在线智能检测
25	苏州瀚川智能科技股份有限公司	江苏省苏州市	产线柔性配置、在线智能检测
26	北京凯普林光电科技股份有限公司	北京市	产线柔性配置、在线智能检测
27	北京机械工业自动化研究所有限公司	北京市	产线柔性配置、智能仓储
28	富士康工业互联网股份有限公司	广东省深圳市	产线柔性配置、大规模个性化定制
29	武汉华中数控股份有限公司	湖北省武汉市	产线柔性配置、人机协同作业
30	湖南瑞菱科技有限公司	湖南省湘潭市	产线柔性配置、智能仓储
31	潍柴智能科技有限公司	山东省潍坊市	产线柔性配置、数智精益管理
32	北京经纬恒润科技股份有限公司	北京市	人机协同作业、产品智能运维
33	浙江中控技术股份有限公司	浙江省杭州市	工艺动态优化、先进过程控制
34	上海优也信息科技有限公司	上海市	工艺动态优化、能源智能管控

序号	名称	所在地	主营业务及优势
	公司		
35	上海慧程工程技术服务有限公司	上海市	先进过程控制、能源智能管控
36	北京亚控科技发展有限公司	北京市	先进过程控制、工厂数据资源管理
37	研华科技(中国)有限公司	北京市	先进过程控制、先进工业网络应用
38	重庆川仪自动化股份有限公司	重庆市	先进过程控制、设备运行监控
39	谷器数据科技有限公司	北京市	数智精益管理、全员数字化管理
40	深圳速腾聚创科技有限公司	广东省深圳市	在线智能检测、精准配送
41	湖南镭目科技有限公司	湖南省长沙市	质量追溯与分析改进、先进工业网络应用
42	中电鸿信信息科技有限公司	江苏省南京市	设备运行监控、工业信息安全管理
43	北京轩宇信息技术有限公司	北京市	设备运行监控、工业信息安全管理
44	湖南星源智能装备有限公司	湖南省郴州市	设备智能运维、智能仓储
45	机械工业仪器仪表综合技术经济研究所	北京市	设备智能运维、安全一体化管控
46	江苏极熵物联网科技有限公司	江苏省无锡市	设备智能运维、碳资产全生命周期管理
47	成都秦川物联网科技股份有限公司	四川省成都市	设备智能运维、先进工业网络应用
48	华晓精密工业(苏州)有限公司	江苏省苏州市	智能仓储
49	苏州艾吉威机器人有限公司	江苏省苏州市	智能仓储
50	上海天睿物流咨询有限公司	上海市	智能仓储、精准配送
51	南京安元科技有限公司	江苏省南京市	安全一体化管控、污染在线管控

序号	名称	所在地	主营业务及优势
52	奇安信科技集团股份有限公司	北京市	安全一体化管控、工业信息安全管理
53	上海威派格智慧水务股份有限公司	上海市	能源智能管控、碳资产全生命周期管理
54	用友网络科技股份有限公司	北京市	产品智能运维、全员数字化管理
55	北京元工国际科技股份有限公司	北京市	供应链计划协同优化、弹性供应链
56	中通服咨询设计研究院有限公司	江苏省南京市	先进工业网络应用、网络协同制造
57	江苏集萃移动通信技术研究所有限公司	江苏省南京市	先进工业网络应用
58	浙江浙大中控信息技术有限公司	浙江省杭州市	先进工业网络应用
59	江苏中天互联科技有限公司	江苏省南通市	先进工业网络应用、精准配送
60	中国卫通集团股份有限公司	北京市	先进工业网络应用、网络协同制造
61	中国信息通信研究院	北京市	先进工业网络应用、工厂数据资源管理
62	南京中新赛克科技有限责任公司	江苏省南京市	工厂数据资源管理
63	航天云网科技发展有限责任公司	北京市	网络协同制造、研产供销服深度集成

附件 5：技术缩略语

序号	缩略语	全称	释义
1	AGV	Automated Guided Vehicle	自动导航小车
2	AI	Artificial Intelligence	人工智能
3	AMR	Autonomous Mobile Robot	自主移动机器人
4	API	Application Programming Interface	应用程序编程接口
5	APS	Advanced Planning & Scheduling	高级计划与排程
6	AR	Augmented Reality	增强现实
7	BOM	Bill of Material	物料清单
8	CAD	Computer Aided Design	计算机辅助设计工具
9	CAE	Computer Aided Engineering	计算机辅助工程
10	CAM	Computer Aided Manufacturing	计算机辅助制造
11	CAN	Controller Area Network	控制器局域网总线
12	CAPP	Computer Aided Process Planning	计算机辅助工艺规划
13	CCD	Charge Coupled Device	电荷耦合器件
14	CRM	Customer Relationship Management	客户关系管理
15	DFM	Design For Manufacturing	面向制造的设计
16	EBOM	Engineering Bill of Material	工程物料清单
17	EMS	Energy Management System	能源管理系统
18	ERP	Enterprise Resource Planning	企业资源计划

序号	缩略语	全称	释义
19	FMEA	Failure Mode and Effect Analysis	失效模式和影响分析
20	IDS	Intrusion Detection System	入侵检测系统
21	IoT	Internet of Things	物联网
22	IPD	Integrated Product Development	集成产品开发
23	IPS	Intrusion Prevention System	入侵防御系统
24	LoRa	Long Range Radio	远距离无线电
25	MBD	Model Based Definition	基于模型定义
26	MBSE	Model-Based Systems Engineering	基于模型的系统工程
27	MBOM	Manufacturing Bill of Materials	制造物料清单
28	MES	Manufacturing Execution System	制造执行系统
29	MOM	Manufacturing Operations Management	制造运营管理
30	MTBF	Mean Time Between Failures	设备平均故障间隔时间
31	NB-IoT	Narrow Band Internet of Things	窄带物联网
32	OA	Office Automation	办公自动化
33	OEE	Overall Equipment Effectiveness	设备综合效率
34	PBOM	Product Bill of Materials	产品物料清单
35	PDM	Product Data Management	产品数据管理
36	PHM	Prognostics & Health Management	故障预测与健康管理

序号	缩略语	全称	释义
			系统
37	PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
38	PLM	Product Lifecycle Management	产品生命周期管理
39	QMS	Quality Management System	质量管理系统
40	RCA	Root Cause Analysis	根本原因分析
41	RFID	Radio Frequency Identification	无线射频识别
42	SaaS	Software as a Service	软件运营服务
43	SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	数据采集与监视控制
44	SCM	Supply Chain Management	供应链管理
45	SLM	Selective laser melting	选择性激光熔化
46	SPC	Statistical Process Control	统计过程控制
47	SQL	Structured Query Language	结构化查询语言
48	SRM	Supplier Relationship Management	供应商关系管理
49	STK	Satellite Tool Kit	卫星工具包
50	TDM	Test Data Management	试验/测试数据管理系统
51	VPN	Virtual Private Network	虚拟专用网络
52	VR	Virtual Reality	虚拟现实
53	VSAT	Very Small Aperture Terminal	甚小口径卫星终端站

序号	缩略语	全称	释义
54	WAN	Wide Area Network	广域网
55	WMS	Warehouse Management System	仓库管理系统
56	4G	the Fourth Generation Mobile Communication Technology	第四代移动通信技术
57	5G	the Fifth Generation Mobile Communication Technology	第五代移动通信技术
58	6G	the Sixth Generation Mobile Communication Technology	第六代移动通信技术

附件 6：智能制造典型场景参考指引（2024 年版）

一、工厂建设

1. 工厂数字化设计与交付

面向工厂规划、工艺布局、产线设计、物流规划等业务活动，针对工厂设计建设周期长、布局不合理等问题，搭建工厂数字化设计与交付平台，应用建筑信息模型、物流和动线仿真、生产系统建模等技术，开展工厂数字化设计和建设，实现工厂数字化交付，缩短工厂建设周期。

2. 数字孪生工厂运营优化

面向基础设施运维、运营管理等业务活动，针对信息孤岛难打通、集成管控难度大等问题，应用建模仿真、异构模型融合等技术，构建设备、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和交互，实现工厂运营持续优化。

二、产品设计

3. 产品数字化研发设计

面向需求分析、概念设计、产品设计等业务活动，针对产品研发周期长、设计质量控制难等问题，基于数字化设计仿真工具和知识/模型库，应用多学科联合建模、物性表征与分析等技术，开展产品结构、性能、配方等设计与验证，大

幅缩短产品研制周期，提高设计质量。

4. 虚拟验证与中试

面向产品验证、中试等业务活动，针对新产品验证周期长、熟化成本高等问题，搭建虚实融合的试验验证环境，应用多物理场仿真、可靠性分析、AR/VR 等技术，通过全虚拟或半虚拟的试验验证，降低验证与中试成本，加速产品熟化。

三、工艺设计

5. 工艺数字化设计

面向工艺规划、产线设计等业务活动，针对工艺设计效率低、验证成本高等问题，基于工艺设计仿真工具、工艺知识库和行业工艺包等，应用工艺机理建模、流程模拟等技术，实现工艺设计快速迭代优化，缩短工艺定型周期。

6. 可制造性设计

面向工艺审查、可制造性改进等业务活动，针对产品试制周期长、加工装配效率低等问题，打通产品研发、工艺设计、生产作业等环节数据，基于产品物理特征与制造能力关联分析，全面评价与及时改进产品和工艺设计的可加工性、可装配性和可维护性。

四、计划调度

7. 生产计划优化

面向销售订单预测、生产计划制定等业务活动，针对订单需求预测难、交付周期长等问题，构建生产计划系统，打通采购、生产和仓储物流等管控系统，应用多目标多约束求解、产能动态规划等技术，实现生产计划优化和动态调整，缩短订单交付周期。

8.智能排产调度

面向作业排程、资源调度、生产准备等业务活动，针对资源利用率低、交付不及时等问题，建设智能排产调度系统，应用多约束排产建模、多目标排产寻优等技术，实现多目标、多扰动情况下排产优化与资源动态调度，缩短产品生产周期，提升资源利用效率。

五、生产作业

9.产线柔性配置

面向产线建设、产线改造等业务活动，针对个性化需求响应慢、产线换线时间长等问题，部署智能制造装备与系统，应用产线模块化重构、柔性物流运输等技术，根据订单、工况、库存等变化，实现产线快速调整和按需配置。

10.人机协同作业

面向复杂产品加工、装配等业务活动，针对传统生产方式协同效率低、作业安全风险高等问题，部署工业机器人等智能制造装备，构建人机协同作业单元和管控系统，应用智

能交互、自主规划、风险感知和安全防护等技术，实现加工、装配、分拣、物流等过程人机高效协同。

11.工艺动态优化

面向离散行业工艺控制、工艺参数调优等业务活动，针对工艺/设备参数动态调优难等问题，建设智能产线和工艺在线优化系统，应用设备机理与数据混合建模、多设备联合寻优等技术，实现工艺过程和设备参数在线优化，提高产品质量一致性。

12.先进过程控制

面向流程行业生产过程控制、工艺参数优化等业务活动，针对复杂工艺过程参数波动大、控制效果差等问题，基于先进过程控制、实时优化等系统，应用模型预测控制、多目标寻优等技术，实现精准、实时和闭环的工艺流程控制优化，稳定产品质量，提高产出率。

13.数智精益管理

面向生产现场管理、成本质量管理、供应链管理等业务活动，针对资源利用率不高、管理效率低等问题，应用六西格玛、6S 等精益方法，将精益管理理念与大数据、云计算、人工智能等数智技术深度融合，实现基于数据的人、机、料、法、环等生产要素精准、高效管理，提升整体运营效率。

六、质量管控

14.在线智能检测

面向质量数据采集、分析、判定等业务活动，针对人工检测效率低、一致性差等问题，构建在线智能检测系统，应用物性成分分析、机器视觉检测等技术，实现产品缺陷在线识别和质量自动判定，提升质量检测效率和准确性。

15.质量追溯与分析改进

面向质量数据管理、质量问题追溯、质量优化等业务活动，针对质量数据不完整、追溯难度大等问题，构建质量管理系统，应用条码、二维码、RFID、5G、标识解析、区块链等技术，集成分析原料、设计、生产、使用等质量相关数据，实现产品全生命周期的质量精准追溯和优化改进。

七、设备管理

16.设备运行监控

面向设备运行数据采集、状态分析等业务活动，针对设备数据全面采集难、统一管理难等问题，部署设备运行监控系统，集成智能传感、5G、多模态数据融合等技术，实现设备数据实时采集、状态分析和异常报警，提高设备运行效率。

17.设备智能运维

面向设备故障分析、健康管理等业务活动，针对设备运维成本高、非计划停机频次高等问题，部署智能传感与控制设备，建立设备运维管理平台，应用设备故障知识图谱、故

障机理分析、预测性维护等技术，实现设备智能运维，降低运维成本，保障连续生产。

八、仓储物流

18.智能仓储

面向物料出入库、库存管理等业务活动，针对出入库效率低、库存成本高等问题，建设立体仓库和智能仓储管理系统，应用条码、二维码、射频识别、仓储策略优化、多形态混存拣选等技术，实现物料出入库、存储、拣选的智能化，提高库存周转率和土地利用率。

19.精准配送

面向厂内物流配送等业务活动，针对物料配送不及时、不精准等问题，部署智能物流设备和管理系统，应用室内高精度定位导航、物流路径动态规划、物流设备集群控制等技术，实现厂内物料配送快速响应和动态调度，提升物流配送效率。

九、安全管控

20.危险作业自动化

面向危险作业操作、过程管理等业务活动，针对危险作业安全风险高、自动化水平低等问题，建设智能作业单元和管控系统，应用环境感知与识别、作业风险控制等技术，实现危险作业环节的少人化、无人化，提高生产作业安全水平。

21.安全一体化管控

面向安全风险识别、安全应急响应等业务活动，针对安全风险实时监控难、处置效率低等问题，搭建生产安全管控和应急处置系统，应用生产运行风险动态监控、安全预警等技术，提高安全防护水平和安全事故快速处置能力，降低事故发生率和损失。

十、能碳管理

22.能源智能管控

面向能耗监测、能源调度等业务活动，针对能耗全面监控难、精细化管控成本高等问题，部署能耗采集设备和管控系统，应用多能源介质感知、能耗综合建模仿真、能源平衡调度等技术，实现工厂能源在线监测、综合管控和能效优化，降低单位产值综合能耗。

23.碳资产全生命周期管理

面向碳排放数据采集、碳足迹追踪和碳资产核算等业务活动，针对碳排放计量难、碳足迹追踪效率低等问题，建立数字化碳管理系统，应用碳排放精细化检测、碳排放指标自动核算等技术，实现产品全生命周期碳排放追踪、分析、核算和交易，降低单位产值碳排放量。

十一、环保管理

24.污染在线管控

面向污染排放监测、污染物收集处理等业务活动，针对污染排放计量难、污染管理粗放等问题，部署污染排放在线采集设备和管控平台，应用污染监测与控制、污染源追溯等技术，实现污染全过程动态监测、精确追溯、风险预警和高效处理，降低污染排放水平。

十二、营销与售后

25.智慧营销管理

面向市场营销、销售管理等业务活动，针对客户需求信息获取不及时、营销策略不合理等问题，建立销售管理系统，应用用户画像、需求预测等技术，实现基于客户需求洞察的营销策略优化和供需精准匹配，提升营销精准性和销售量。

26.产品智能运维

面向产品运维、增值服务等业务活动，针对服务周期长、响应不及时等问题，构建产品远程运维系统，集成 5G、AR/VR、预测性维护等技术，实现基于运行数据的产品远程监控、故障诊断和增值服务创新，提高产品附加值。

27.智能客户服务

面向投诉处理与反馈、客户关系维护等业务活动，针对客户响应不及时、服务体验感差等问题，建立客户服务管理系统，应用 5G、AR/VR、自然语言处理、知识图谱、大数据分析等技术，实现主动式客户服务响应，提高客户满意度。

十三、供应链管理

28.供应链计划协同优化

面向采购计划制定、协同、优化等业务活动，针对采购计划不精准、交付不及时等问题，建设供应链管理系统，应用集成建模、多目标寻优、数据跨域控制等技术，实现基于市场、采购、库存、生产等数据的供应链计划协同优化。

29.供应商数智化管理

面向供应商入库、供应商评价、物料采购等业务活动，针对供应商比选难、议价能力弱、断供风险响应不及时等问题，建立供应商管理系统，应用供应商风险评估、供应链溯源等技术，实现供应商精准画像，开展基于数据分析的供应商评价、分级分类、寻源和优选推荐。

30.供应链物流智能配送

面向配送路线规划、运输过程监控等业务活动，针对物流运输过程监控难、配送周期长等问题，建设供应链物流管理系统，应用 5G、多模态感知、实时定位导航、智能驾驶等技术，实现厂外物流全程跟踪、异常预警和高效处理，降低供应链物流成本，提升准时交付率。

十四、信息基础设施

31.先进工业网络应用

面向工厂网络设计、建设、运营等业务活动，针对工厂网络需求多样、结构复杂、带宽不足等问题，部署 5G 专网、TSN、工业全光网络等新型网络基础设施，应用异构网络融合、远距离高带宽实时通信等技术，建设满足智能制造需求的低时延、高可靠、大带宽工业网络。

32.工业信息安全管理

面向网络安全、数据安全等要求，针对企业网络与数据安全风险高、防护能力弱等问题，实施工业互联网安全和数据分类分级管理，部署工业控制系统网络安全防护设备，建设数据安全风险监测和应急处置能力，应用安全态势感知、多层次纵深防御等技术，实现全方位全流程安全漏洞监测、风险防控、快速处置，提升网络安全和数据安全防护水平。

33.工厂数据资源管理

面向数据采集存储、数据分析应用等业务活动，针对数据格式不统一、价值释放不充分等问题，建设数据中心、工业互联网平台等基础设施，融合数据跨域控制、数字合约、隐私计算等技术，开展数据治理，实现企业内或跨企业的数据安全可信流通和挖掘应用，推动数据价值化。

十五、多环节模式创新

34.数据驱动产品研发

面向产品快速研发、复杂结构设计、用户个性化设计等

需求，集成市场、设计、生产、使用等多维数据，探索创成式设计，基于数据驱动的产品形态、功能和性能的研发设计和持续优化，缩短产品研发周期，加速产品创新。

35.大规模个性化定制

面向产品个性化、多样化、小批量等需求，通过网络化手段收集多元化市场需求，采用模块化设计、平台化架构、柔性化系统等手段，以规模化生产的低成本、高质量和高效率，提供个性化、定制化的产品和服务。

36.网络协同制造

面向复杂产品多方协同、产能共享、多工厂协同等需求，建立网络协同制造平台，推动多环节、多工厂或多企业间设计、生产、管理、服务等环节紧密连接，实现跨企业跨地域的业务协同和制造资源配置优化，助力打造全球生产网络。

37.研产供销服深度集成

面向市场快速响应、资源高效配置、客户体验优化等需求，推动研发、生产、供应、销售和服务等环节的业务流、数据流深度集成，形成一个高效协同的运营体系，实现产品全生命周期协同优化，全面提升企业的市场竞争力。

38.弹性供应链

面向供应链稳定性提升、供应链快速调整等需求，建立供应链风险预警与弹性管控系统，集成应用供应链风险识别

和动态响应模型，实现供应链风险在线监控、精准识别、提前预警和快速处置，提升产业链供应链韧性和安全水平。

39.全员数字化管理

面向人员数字化绩效评估、数字化技能提升、健康管理等需求，组织开展全员数字化能力培训，构建统一的人员数字化管理平台，集成人员健康状况、专业技能评估及作业环境等多维度信息，实现人员绩效量化动态评估、人员状态动态监测和精准作业派工，提升全员岗位效能。

40.可持续制造

面向节能减排、循环经济、绿色消费等需求，以数智技术支撑企业以对环境和社会负责的方式开展产品全生命周期、生产制造全过程和供应链全环节各业务活动，实现生态效益、资源效率、生产效率和社会责任等多方面综合平衡。