

江苏省制造业智改数转网联 海工装备行业实施指南

江苏省工业和信息化厅

二〇二五年

目 录

| | |
|---------------------------|----|
| 一、背景与现状 | 1 |
| (一) 指南范围 | 1 |
| (二) 行业概述 | 1 |
| (三) 行业“智改数转网联”的发展现状 | 3 |
| 二、目标与架构 | 7 |
| (一) 实施架构 | 7 |
| (二) 总体目标 | 9 |
| 三、基础能力建设 | 10 |
| (一) 制造流程规范化、数据标准化 | 10 |
| 1、制造流程规范化 | 10 |
| 2、制造数据标准化 | 11 |
| (二) 数智化制造体系规划 | 11 |
| (三) 网络基础设施能力建设 | 12 |
| (四) 数据采集能力建设 | 13 |
| 1、异构设备数据采集能力 | 13 |
| 2、多源数据集成与管理能力 | 14 |
| (五) 信息系统集成能力建设 | 15 |
| (六) 工业信息安全能力建设 | 16 |
| 1、建立多层次网络安全防护架构 | 16 |
| 2、强化数据安全治理 | 17 |
| 四、环节与场景 | 19 |
| (一) 工厂建设环节 | 19 |
| 1、存在的主要问题 | 19 |
| 2、典型场景 | 20 |
| 场景 1：工厂数据资源管理 | 20 |
| 场景 2：先进工业网络应用 | 21 |

| | |
|-------------------------|----|
| 场景 3：工业信息安全管控 | 22 |
| 场景 4：数字孪生工厂建设 | 24 |
| (二) 研发设计环节 | 25 |
| 1、存在的主要问题 | 25 |
| 2、典型场景 | 27 |
| 场景 5：产品数字化研发设计 | 27 |
| 场景 6：产品虚拟验证 | 29 |
| 场景 7：数据驱动产品设计优化 | 29 |
| 场景 8：数字化工艺设计 | 30 |
| 场景 9：可制造性设计 | 31 |
| (三) 生产作业环节 | 33 |
| 1、存在的主要问题 | 33 |
| 2、典型场景 | 34 |
| 场景 10：产线柔性配置 | 34 |
| 场景 10-1：钢材智能堆场 | 35 |
| 场景 10-2：钢材预处理生产线 | 38 |
| 场景 10-3：条材切割生产线 | 42 |
| 场景 10-4：型材切割生产线 | 46 |
| 场景 10-5：小组立智能生产线 | 50 |
| 场景 10-6：T 型材装焊生产线 | 53 |
| 场景 10-7：曲面辊压流水线 | 57 |
| 场景 10-8：平面分段流水线 | 60 |
| 场景 10-9：管加工智能产线 | 64 |
| 场景 10-10：总组搭载场地 | 68 |
| 场景 10-11：码头作业场地 | 69 |
| 场景 11：人机协同制造 | 71 |
| 场景 12：工艺动态优化 | 71 |

| | |
|-----------------------|-----|
| 场景 13：在线质量检测 | 73 |
| 场景 14：设备运行监控 | 73 |
| （四）生产管理环节 | 75 |
| 1、存在的主要问题 | 75 |
| 2、典型场景 | 78 |
| 场景 15：生产计划优化 | 78 |
| 场景 16：车间智能排产 | 81 |
| 场景 17：生产作业管理 | 83 |
| 场景 18：仓储智能管理 | 85 |
| 场景 19：物料精准配送 | 86 |
| 场景 20：质量追溯与分析改进 | 87 |
| 场景 21：安全一体化管控 | 90 |
| 场景 22：能源智能管控 | 93 |
| 场景 23：污染在线管控 | 94 |
| （五）运营管理环节 | 94 |
| 1、存在的主要问题 | 95 |
| 2、典型场景 | 96 |
| 场景 24：供应链协同 | 96 |
| 场景 25：供应商数智化管理 | 97 |
| 场景 26：主动客户服务 | 97 |
| 五、路径与方法 | 99 |
| （一）总体实施步骤 | 99 |
| 1、“一企一策”精准实施 | 99 |
| 2、多措并举 | 100 |
| （二）对接服务 | 103 |
| 1、诊断评估服务 | 103 |
| 2、智改数转网联实施服务 | 104 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| (三) 政策支持 | 105 |
| 1、专项资金、试点示范 | 105 |
| 2、中小企业扶持政策 | 107 |
| 六、愿景与展望 | 108 |
| 附件..... | 110 |
| 附件 1、改造投入清单 | 110 |
| 1、智能化改造装备清单 | 110 |
| 2、工具软件清单 | 111 |
| 3、网络化联接设备清单 | 112 |
| 4、数字化转型数据要素清单 | 114 |
| 5、知识模型资源清单 | 119 |
| 6、行业数字化转型人才技能清单 | 121 |
| 附件 2、典型案例 | 122 |
| 1、招商 CM-META 工业互联网平台打造智转数改新基座 | 122 |
| 2、南通中远海运川崎船舶工程有限公司智能化车间 | 123 |
| 3、启东中远海运海工 5G 专网建设 | 124 |
| 4、惠生清洁能源科技集团新厂区数智化建设 | 125 |
| 5、招商局重工（江苏）有限公司薄板分段生产线 | 125 |
| 6、扬州中远海运重工有限公司智能化改造项目 | 126 |
| 7、江苏新时代造船有限公司视觉智能识别焊接机器人 | 128 |
| 8、扬子江船业集团公司中间产品完整性 | 128 |
| 9、江苏现代造船技术有限公司一体化集成解决方案 | 129 |
| 10、无锡华联科技集团有限公司智能产线装备 | 130 |
| 附件 3、服务商目录 | 132 |
| 附件 4、技术缩略语 | 135 |

图表目录

| | |
|---------------------------------|----|
| 图 1 海工装备企业“智改数转网联”总体实施架构图..... | 8 |
| 图 2 数智化制造体系结构 | 12 |
| 图 3 异构设备数据采集实现路径 | 14 |
| 图 4 系统集成方式 | 15 |
| 图 5 端到端数据加密 | 17 |
| 图 6 技术架构案例 | 22 |
| 图 7 基于 5G 的海工装备制造车间安全防护架构 | 24 |
| 图 8 基于模型的孪生船厂 | 25 |
| 图 9 三维数字化设计 | 28 |
| 图 10 基于二维原理实现三维自动建模 | 29 |
| 图 11 数字化工艺设计..... | 31 |
| 图 12 产品数据管理 | 32 |
| 图 13 钢材堆场 | 36 |
| 图 14 钢材堆场布置 | 38 |
| 图 15 钢材预处理生产线 | 40 |
| 图 16 条材切割生产线 | 44 |
| 图 17 型材切割生产线 | 48 |
| 图 18 小组立智能生产线 | 51 |
| 图 19 T 型材装焊生产线 | 55 |
| 图 20 曲面辊压流水线 | 58 |
| 图 21 平面分段生产线 | 62 |
| 图 22 管加工智能产线 | 65 |
| 图 23 生产设备实时监控 | 74 |
| 图 24 制造过程多级计划管理 | 80 |
| 图 25 作业派工管理 | 84 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 图 26 基于 BOM 的物资出入库管理 | 87 |
| 图 27 工程质量管理 | 89 |
| 图 28 某企业 3D 电子地图 | 91 |
| 图 29 车间能耗采集 | 94 |
| 图 30 海工装备行业“智改数转网联”总体实施路径..... | 100 |
| 图 31 某厂总装建造智改数转顶层规划与流程再造 | 101 |
| 图 32 CM-META 工业互联网平台 | 122 |
| 图 34 南通中远海运川崎船舶工程有限公司智能化设备 | 124 |
| 图 33 招商局重工（江苏）有限公司薄板分段生产线 | 126 |
| 图 36 扬州重工管工车间数字化规划框架 | 127 |
| 图 35 视觉智能识别船舶小组立全自动焊接机器人 | 128 |
| 图 37 苏现代造船公司一体化集成解决方案（CSS 系统） | 130 |
| 图 38 无锡华联智能产线装备 | 131 |

一、背景与现状

（一）指南范围

为贯彻党中央、国务院关于建设制造强国和海洋强国的决策部署，认真落实《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)》（苏政办发〔2024〕39 号）要求，推动我省海工装备行业智能化改造数字化转型网络化联接，特制定本指南。

本指南主要面向江苏省海工装备制造企业，覆盖工厂建设、研发设计、生产作业、生产管理和运营管理 5 个方面的关键业务环节，以数智化制造为目标，以典型场景为切入点，多措并举，开展智能化改造数字化转型网络化联接工作，补短板、锻长板，全面提升海工装备企业网络化、数字化、智能化水平。

（二）行业概述

海工装备制造是为海洋开发、资源勘探、海洋运输提供装备的重要产业，涵盖了深海钻探、海洋风电、海洋资源开发、远洋运输等多个领域，是实现海洋强国、制造强国战略的重要支柱。作为典型的技术密集、资金密集和人才密集型产业，海工装备制造在促进就业、推动高新技术产业发展及推动国际合作方面发挥着重要的作用。

近年来，我国海工装备制造业成就显著，在深水油气开发、海洋风电装备、高技术船舶等领域，市场占有率不断提

升，技术能力已达到国际先进水平；自主研发了一批具有国际领先水平的海工装备产品，如首座大型全潜式深海智能渔业养殖装备“深蓝一号”、首座半潜式钻井平台“蓝鲸一号”以及首座深海钻井平台“海洋石油 981 深水钻井平台”等。当前，我国海工装备行业正处于由大到强的转型关键期。新一轮科技革命和产业变革为海工装备制造带来了新的机遇与挑战，特别是绿色能源和智能制造技术创新成为各国争相布局的战略高地。

江苏省海工装备产业基础和技术积累雄厚，产业链条完整、规模庞大，发展质量和速度在全国处于领先地位。党的十八大以来，江苏省海工装备行业深入贯彻国家发展战略，积极实施优化整合政策，推动技术创新与产业转型，依托骨干企业的引领作用，多个核心技术取得重大突破，构建了现代化的海工装备制造产业体系，形成了以南通启东为代表的具有国际竞争力的海工装备产业集聚地。

随着“一带一路”倡议的深入实施、碳达峰与碳中和目标的明确，以及新兴市场需求的不断增长，江苏省海工装备制造业迎来了新的发展机遇。“十五五”是江苏省海工装备制造业创新驱动、补齐短板、夯实基础、提升竞争力的关键阶段。加快新一代信息技术与传统海工装备制造的深度融合，积极推动整个行业的数智化转型，是进一步提升江苏省海工装备制造业国际竞争力的关键举措，对于推动江苏省海工装备制造业高质量发展具有重要意义。

（三）行业“智改数转网联”的发展现状

海工装备制造具有产品结构复杂、制造环节多、生产周期长、场地类型多样、作业环境复杂等多种挑战。随着人工智能、物联网、大数据、云计算等新一代信息技术的快速发展，海工装备制造有了新的强有力的技术支撑。在此背景下，全球主要海工装备制造国家纷纷开启数智化转型，实施生产设备和生产线的智能化改造，开展全链条的数字化系统应用，以提升制造效率和产品质量。

近年来，我国海工装备制造企业在数字化、网络化、智能化方面投入不断增加，数智化能力不断提高，但是仍然存在以下问题：

（1）离散型制造模式限制效率。海工装备制造具有生产方式传统、制造模式离散的特征，研发设计数字化、模块建造智能化和管理服务网络化等转型需求迫切。离散型制造模式导致各环节协同效率低，难以形成全流程数字化闭环。国际一流企业已通过模块化设计、精益生产和智能化流水线实现设计制造过程的高度集成，效率得到大幅提升。

（2）单件小批量订单技术供给难。海工装备制造多为单件小批量订单，需要高度定制化设计制造，技术供给面临严峻挑战。产品设计难复用，需为每单投入大量精力；供应链需频繁调整以匹配特定功能需求；复杂工艺（如大型曲面建造、精密系统集成）依赖高水平技工和特殊工装，技术资源分散且难以规模化应用。

（3）制造技术自主创新不足。高端海工装备的核心部件、关键技术、系统集成等方面仍依赖国外的供应和支持，制约了产业链的自主可控；制造技术方面，虽然部分企业已建成智能制造示范项目，但是在人工智能、数字孪生、工业大数据等前沿技术应用仍处于探索阶段，尚未开展有效场景应用。

（4）场景落地与推广困难。海工装备制造基础较为薄弱，传统数字化制造场景应用偏少，数字化技术的产品设计、跨环节的智能排产、供应链协同等核心应用场景上突破不多，后期迭代优化周期长，场景落地成本高，可复制性低。

江苏省近年来积极推进海工装备制造企业的智能化改造数字化转型网络化联接工作，取得了一定成效，但在全行业转型方面仍面临诸多困难。我省海工装备制造企业数量众多，发展阶段各异，面临的发展诉求和现实困难各不相同。同时，企业类型、核心产品也有所区别，技术、管理和经验分享存在客观困难，行业智能化改造数字化转型网络化联接难以步调一致。综合调研分析，我省海工装备制造企业的数智化水平大致分为三个层次：

（1）**大型骨干海工装备制造企业**：主要指省内的龙头骨干企业。这部分企业在制造流程上已在材料加工、结构件焊接和装配阶段实现了较高程度的自动化生产，积极推动了车间物联网设施的建设，促进了设计、生产和管理信息系统的集成。然而，在模块组装、设备调试和后期维护等环节仍然以人工操作为主，其复杂的作业特点和管理控制难度给先进

技术开发和应用带来了较大挑战。全流程数据标准化、工艺数字化、基础数据完整性、全链条信息集成和虚拟仿真等短板依然突出。大型企业需要继续深挖先进技术与海工装备制造结合的应用场景，持续开展智能化改造数字化转型网络化联接工作，引领行业高质量转型发展。

（2）规模以上海工装备制造企业：主要指具备较好自动化生产条件的中等骨干企业。这部分企业在某些生产环节的自动化程度可以与省内外大型骨干企业相媲美。经过市场波动的考验，企业管理基础得到明显提升，信息化与工业化的深度融合条件更加扎实。目前，仍存在设计制造主流程数字化软件覆盖度低、信息孤岛现象严重、单一设备与制造单元间信息未实现互联互通等问题。中型企业需要在扩展先进制造技术应用方面加大力度，弥补网络化、数字化和智能化基础设施的短板，以设计为出发点，逐步实施海工装备全生命周期的业务数字化转型，促进设计、生产、管理及经营领域的信息集成，开展生产设备的智能化改造，逐步完成互联网与物联网系统的独立构建与高效融合。

（3）小型海工装备制造企业：主要指规模较小的部分小型企业。这部分企业在生产工艺技术、管理体系和接受先进制造理念等方面基础较为薄弱，自动化设备和高端制造设施的应用非常有限，主要生产环节依然采用大规模人工作业模式，合理用工难以落实，信息化工具仍停留在传统电子文档的阶段，生产经营效益与骨干企业之间的差距持续加大，数

数字化转型和智能化改造任务最为艰巨。小型企业需要根据自身条件，以提升安全生产和质量达标率为重点，填补相关领域的数字化制造技术空白，通过设备更新升级取得网络化、智能化建设突破，走出一条专精特新的发展道路。

综上所述，江苏省海工装备制造行业开展智能化改造数字化转型网络化联接工作必须充分尊重企业个性化需求特征，以企业为主体的创新发展思路，遵循两化融合的系统性规律，加强顶层设计与统筹协调，在掌握核心关键技术的基础上，依托深耕行业的优质本土制造服务商，探索不同企业、不同工艺环节的实施策略，力求在国内率先走出一条自主可控、先进适用、多快好省的智能化改造数字化转型网络化联接道路。

二、目标与架构

（一）实施架构

海工装备制造企业实施“智改数转网联”需要从总体上规范化制造流程、标准化产品和生产数据，在精益生产和管理模式转变基础上，有步骤地开展智改数转网联实施工作：

（1）通过装备的智能化改造，突破船舶智能制造关键技术，实现数字化装备、数字化生产线/车间集成应用；

（2）通过信息系统的单点应用和系统集成，将工艺流程、数据流、物流、信息流集成；

（3）通过工业互联网技术应用，将制造资源有机地联系在一起，推动各个环节的数据共享，实现全寿命周期精益制造。

海工装备行业“智改数转网联”总体实施架构如图 1 所示。以智能工厂梯度建设为指引，从工厂建设、研发设计、生产作业、生产管理和运营管理五个方面实施智能化改造数字化转型网络化联接工作，覆盖产品设计、工艺设计、计划调度、生产作业、质量管理、设备管理、仓储物流、安全生产和供应链管理典型场景。



图 1 海工装备企业“智改数转网联”总体实施架构图

（二）总体目标

以数字化技术创新应用为驱动，推进新一代信息技术与海工装备制造流程深度融合，通过分批分级实施“智改数转网联”，逐步提升海工装备企业在产品设计、工艺设计、计划调度、生产作业、质量管理、设备管理、仓储物流、安全生产、能源管理、环保管控和供应链管理的数智化水平，探索人工智能加速赋能、生产要素广泛联接，促进海工装备行业的高质量转型发展。

到2027年，全省主要海工装备制造企业完成“智改数转网联”诊断调查，建立诊断档案数据库；定点企业制定个性化“一企一策”实施方案，实现“智改数转网联”精准实施；骨干企业在钢材预处理、条材/型材切割、分段组立、管子加工等场景基本完成智能化改造，达到基础级及以上智能工厂水平的企业覆盖率超过50%，打造2家全球领先的领航级智能工厂；培育领军服务商3-5家；推动江苏省海工装备智能制造联盟建设，引导更多企业和配套企业开展“智改数转网联”。

三、基础能力建设

海工装备制造企业实施“智改数转网联”，必须以精益制造理念为基础，规范化制造流程、标准化制造数据，从顶层设计出发，搭建数智化制造体系，结合网络基础设施能力、数据采集能力、信息系统能力和工业信息安全能力建设，为“智改数转网联”实施奠定基础条件。

（一）制造流程规范化、数据标准化

目前，江苏省海工装备制造骨干企业基本建立了规范化的生产工艺流程，头部企业也在数据标准化方面开展了大量工作。但是，多数中小企业生产模式仍然较为落后，流程不规范、数据不标准问题突出，成为制约企业开展“智改数转网联”的重要瓶颈。

1、制造流程规范化

建立规范化作业流程标准，可以为“智改数转网联”提供流程引擎。在智能化改造中，规范化的工序步骤、工艺参数和质量控制点，是自动化设备精准执行的前提；若流程随意变动，智能制造系统可能因逻辑混乱而失效。在数字化转型中，流程规范化确保业务节点（如设计、计划、生产和质检）的数据被结构化采集和追踪，支撑全流程精益管理。在网络化联接场景下，跨部门、跨企业的协作（如供应链联动、远程监造）依赖标准化的流程接口与责任边界，避免因流程割裂导致信息断层。

2、制造数据标准化

数据标准化指通过统一数据定义、格式和语义，解决“智改数转网联”的数据互通与价值挖掘基础问题。数据标准化覆盖设备参数（如传感器读数）、物料编码（如钢材牌号）、工艺指标（如焊接电流）、质量属性（如缺陷分类）等全要素，为智能化改造提供可解析、可比较的数据基础，驱动设备预测性维护与自适应调控。在数字化转型中，标准化的数据模型可以有效消除系统孤岛，实现 ERP/MES/PLM 等系统间无缝对接，构建全局数据资产。

（二）数智化制造体系规划

智能化改造、数字化转型、网络化联接并非孤立行动，其高度依赖于一个底层打通、数据驱动、柔性敏捷的数智化制造体系。海工装备企业实施“智改数转网联”必须在流程规范化、数据标准化基础上，搭建贯穿工厂建设、研发设计、生产作业、生产管理和运营管理的数智化制造体系，支撑起柔性化生产线的动态调度（智改），驱动研发设计、生产管控、供应链协同等业务数字化管控（数转），并为企业内部及产业链上下游的高效互联互通与资源优化配置（网联）提供底层架构体系。

■ 数智化制造体系规划案例

各企业可以根据自身基础，搭建适应企业特点的数字化制造体系。在此基础上，逐步开展“智改数转网联”的各项工作。图 2 为某企业制定的数智化制造体系结构。



（三）网络基础设施能力建设

网络基础设施是海工装备企业实现“智改数转网联”的根基。稳固且先进的网络基础设施，能够确保数据在各环节、各设备间高效、稳定地传输，为智能制造中的实时控制、远程协作等提供通信保障；精确、完善的标识基础设施，可实现对产品全生命周期以及供应链各环节的精准识别与管理，极大提升生产与运营的协同效率。

网络基础设施能力建设包括搭建合适的网络架构、部署安全可靠的网络环境，实现生产设备的互联互通、数据的高效采集与传输以及各业务系统的深度融合。可靠的网络架构也能够为新技术的应用提供了拓展空间，推动产品研发设计、生产工艺等方面不断创新。

（四）数据采集能力建设

1、异构设备数据采集能力

生产过程多源数据全面感知是海工装备企业实现“智改数转网联”的目标之一。海工装备企业现场设备类型复杂、数据协议多样，导致数据全面采集以及高效驱动制造存在一定困难。企业可以通过分析车间设备类型和数据特点，建立设备统一信息模型，通过边缘采集工具实现多协议设备数据采集和标准转换，通过高效边缘实时计算技术实现大规模数据的高效存储和处理，支撑海工装备数智化制造。

■ 异构设备数据采集实施案例

1) 车间多源异构信息模型构建

车间主要包括生产/加工设备、物流仓储设备、能源设备，以及为实现关键设备状态评估加装的传感器等。采集数据包括设备状态、报警信息、运行参数、位姿信息、温度能耗、作业数据等。

数据模型主要分为静态数据、动态数据、过程数据三类子模型，通过对象之间聚合、包含、引用各种关系组合形成车间多源异构信息模型。通过将设备的各种数据以及结构节点封装为对象来对设备信息模型进行描述，实现复杂数据结构的通信。

2) 多通道异构设备数据采集

车间设备运行一般遵循多种工业协议，包括 NC-LINK（数控装备工业互联通讯协议）、Modbus（串行通信协议）、RTSP（实时流传输协议）等。可以借助数采工具开展生产数据采集。采用面向服务的标准化通信架构进行协议统一集成封装，支持工业现场多协议、标准化、可扩展的通讯接口，实现通讯协议统一化和数据格式标准化。

3) 边缘高性能数据存储计算

海工装备企业现场数据采集点位多、频次高，对边缘数据存取性能要求较高。边缘数采工具通过在内存中建立数据表映射，完成数据清理、建模全过程，实现海量异构数据清洗、特征提取以及数据聚合等高效预处理；基于高性能数据存储压缩技术，分析 PLC 等信号数据特征，基于滑动窗口压缩算法、差值压缩算法等，支持边缘信号数据无损压缩，降低数据存储成本，提高传输速度。

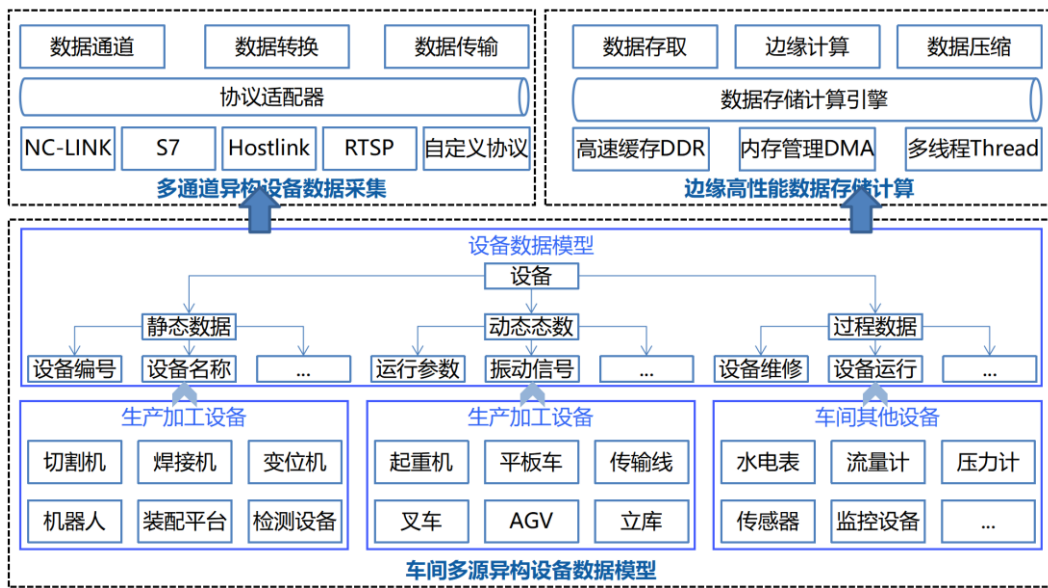


图 3 异构设备数据采集实现路径

2、多源数据集成与管理能力

通过数据资产管理系统进行系统数据集成和数据资产构建，为企业提供数据应用服务。

1) 数据集成能力

数据资产管理系统通过数据集成和数据同步的方式，实现多源异构数据的数据集成。

2) 数据管理能力

将集成的数据进行融合，作为数据资产进行管理。建立数据资产管理策略和规程，包括数据治理、数据安全、数据质量监控和数据访问控制等方面的措施。

3) 数据应用能力

建立数据与业务的关联关系，针对每一重点事项确定梳理定义一级指标。然后，自上而下对指标进行逐级拆解，主要流程包括指标拆解需求（解读指标定义、识别指标）、指标拆解设计（基于指标叠加同时拆解指标、基于指标拆解结果，识别指标数据）、指标与数据资产匹配（数据资产匹配落地）。根据数据指标体系，将数据转化为可供使用的数据服务，以满足业务需求。

（五）信息系统集成能力建设

系统集成方式包括：系统点对点集成、总线集成（ESB）、服务化集成（iPaaS）和智能化集成，如图 4 所示。

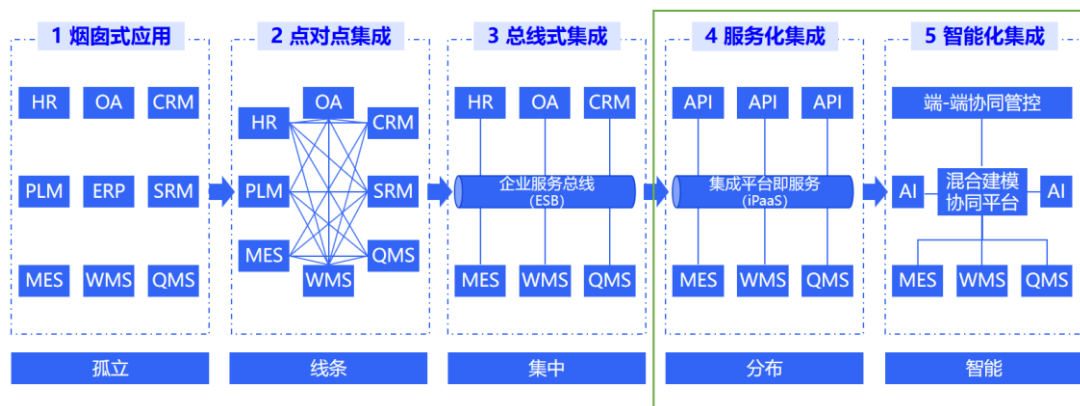


图 4 系统集成方式

海工装备制造企业实施“智改数转网联”需要打破设计、生产、

管理、运维等信息系统之间的壁垒，通过企业服务集成实现无缝集成，提升转型实施成效。

某企业采用基于 ESB 的系统集成方式。所有部门的业务数据通过总线上传到集成中心。当设计部门完成海工装备的设计图纸后，相关信息能自动同步至生产管理系统，触发生产任务的生成与物料清单的制定；生产过程中的质量检测数据可实时反馈至质量管理体系，一旦发现质量问题，能迅速通知生产部门进行调整，同时追溯问题源头。企业内部信息系统的深度集成，能够打通端到端业务连接，实现业务流程的自动化与协同化，提高整体运营效率。

（六）工业信息安全能力建设

1、建立多层次网络安全防护架构

针对现场机器设备类型和接口多样的特点，海工装备企业需要采用支持主流协议的工业网关以实现异构网络的连接，对工业现场各种机器和设备接口进行统一管理，实现可靠接入，将采集的数据进行底层实时融合以及协议转换。同时，需要将内部网络根据业务功能、安全需求等因素进行合理分段。例如，将生产控制系统网络、办公网络、研发网络等进行物理或逻辑隔离。在不同网络段之间设置访问控制策略，限制不必要的网络访问，降低安全风险的扩散范围。

2、强化数据安全 管理

1) 数据加密存储与传输

对海工装备的各类数据，包括设计图纸、生产工艺数据、设备运行数据等，在存储和传输过程中需要采用加密技术。在数据存储方面，利用数据库加密功能对数据库中的敏感数据进行加密存储。在数据传输过程中，使用 SSL/TLS 等加密协议，确保数据在网络传输过程中的保密性和完整性。

为防止企业数据泄露，可以从网络层和应用层两个层面实现对数据的端到端加密，如图 5 所示。其中的 c 和 h 部分所示，需要在终端侧加密，在企业的应用服务器侧进行解密；网络层加密如图中的 a、b、d、e、f、g 部分所示，可以根据实际业务需求进行选择。

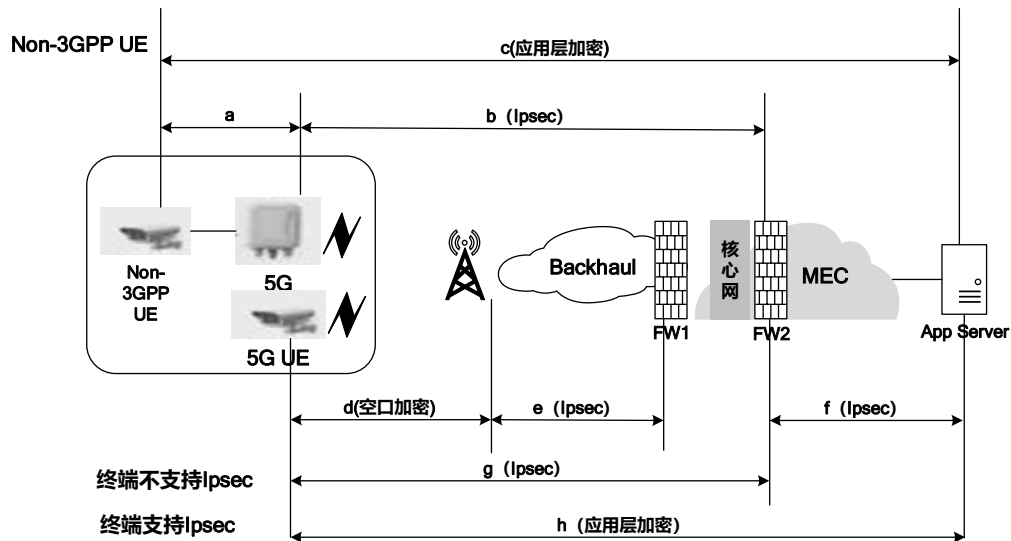


图 5 端到端数据加密

2) 数据访问控制与权限管理

基于用户角色、职责和业务需求，需要建立严格的数据访问机制，对数据进行细分访问授权，为不同岗位的人员分配相应的数据访问权限。例如，设计人员具有对设计图纸的读写权限，生产操作人员仅能访问与生产相关的数据，且只能进行特定的操作。考虑到海工装备业务的动态性，如项目的推进、业务流程的优化、人员岗位的变动等因素，需要定期对用户权限进行审查和更新。通过定期审查，及时发现并纠正因人员变动或业务调整而导致的权限不合理问题。

3) 数据备份与恢复

企业需要制定完善的数据备份策略，定期对重要数据进行备份，并将备份数据存储安全的位置，如异地数据中心或专用的备份存储设备中。备份数据要涵盖系统数据、业务数据、配置数据等。同时，定期进行数据恢复演练，确保在数据丢失、损坏或遭受攻击时，能够快速、有效地恢复数据，保障业务的连续性。

四、环节与场景

（一）工厂建设环节

工厂建设环节的“智改数转网联”主要包括：

- （1）产线级、车间级、工厂级的数字化规划与建设；
- （2）部署安全可控的智能制造装备、工业软件、系统和数字基础设施；
- （3）对工艺路线、产线布局和物流路径等进行仿真；
- （4）构建工厂数字孪生系统，实现对制造过程的精准映射和反馈控制；
- （5）建立较为完备的数据治理体系，推动形成企业数据资产。

1、存在的主要问题

目前，尚没有海工装备企业开展数字工厂的完整性建设，部分企业规划了基于数字孪生的工厂运营建设方向，仍处于探索尝试阶段。截至2025年4月，全省共有省级智能车间7个、市级智能车间3个、国家级智能车间还处于空白；国家级智能工厂1个、省级智能工厂3个、市级智能工厂1个；省市工业互联网平台8个，国家级工业互联网平台个数为0；建成5G全连接工厂4家，规划和建设中5G全连接工厂10家。

总体而言，江苏省海工装备企业在智能工厂建设方面，仍处于头部企业尝试、骨干企业跟随的状态，智能工厂建设占比不高，

数智化整体水平较低。企业可以借助“智改数转网联”实施，围绕数据资源管理、先进工业网络应用、工业信息安全管理开展建设；头部企业需要围绕数字孪生工厂开展引领性建设。

2、典型场景

场景 1：工厂数据资源管理

在数据标准化的基础上，开展数据资源的有效管理。按照企业发展阶段和基础，开展如下建设内容：

1) 建立基本的数据管理制度和流程，对基础的企业内数据进行初步的数据管理和质量监控。

2) 制定并执行统一的数据标准和规范，建立专门的数据治理组织或团队优化数据流程，必要时实现数据的跨域控制的标准化和规范化，以及业务活动的数据上云。

3) 应用云计算、大数据、隐私计算、区块链等技术，构建可信数据空间，实现企业内或跨企业数据的安全可信流通、有效治理和分析利用。

4) 构建全面的数据治理体系，建设数据中心，利用数据分析、数据挖掘等技术手段，深入挖掘数据的潜在价值。

■ 数据治理案例

某企业通过数据资产管理系统进行系统数据集成和数据资产构建，为企业提供数据应用服务。

1) 数据集成能力。数据资产管理系统通过数据集成和数据同步的方式，实现多源异构数据的数据集成。

2) 数据管理能力。将集成的数据进行融合，作为数据资产进行管理。建立数据资产管理策略和规程，包括数据治理、数据安全、数据质量监控和数据访问控制等方面的措施。

3) 数据应用能力。建立数据与业务的关联关系，针对每一重点事项确定梳理定义一级指标。然后，自上而下对指标进行逐级拆解，主要流程包括指标拆解需求（解读指标定义、识别指标）、指标拆解设计（基于指标叠加同时拆解指标、基于指标拆解结果，识别指标数据）、指标与数据资产匹配（数据资产匹配落地）。根据数据指标体系，将数据转化为可供使用的数据服务，以满足业务需求。

场景 2：先进工业网络应用

针对企业实际需求，开展网络基础设施能力建设：

1) 实现工业控制网络和生产网络覆盖。

2) 建立具有远程配置功能的网络，具备带宽、规模、关键节点的扩展和升级功能，保障关键业务数据传输的完整性。

3) 部署物联网、千兆光网等新型网络基础设施。

4) 建设工业数据中心、智能计算中心、工业互联网平台以及新型网络、数据等各类基础设施。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。

■ 网络架构实施案例

搭建合适的网络架构是开展网络基础设施能力建设的前提。可靠的网络架构为新技术的应用提供拓展空间，实现生产设备的互联互通、数据的高效采集与传输以及各业务系统的深度融合，推动企业的设计研发、生产工艺等方面不断创新。

海工装备企业可采用“数字底座平台+工业应用集合”的扁平化架构，以支撑企业构建“工业数据+海工装备行业知识”驱动的应用架构体系，降低水平/垂直维度集成的难度，满足企业在数字化转型过程中各种敏捷应用创新的需要。

某企业实施的网络技术架构，涵盖基础层、平台层、应用层：

1) 基础层包括车间设备设施设备、数字化业务系统以及非结构化数据。数字底座平台边缘数采工具箱支持设备连接，实现设备采集、控制等。数据资产管理平台支持系统集成以及非结构化数据解析。通过车间 IT、OT 的数据采集、传输、存储、建模，建立企业数据资产，形成数字化、智能化的基础。

2) 平台层搭建数字底座，为数字系统建设、集成提供关键支撑。

3) 应用层在数字底座基础上搭建“数据+模型”驱动的工业应用集。



图 6 技术架构案例

场景 3：工业信息安全管控

企业实施“智改数转网联”，必将面临更广泛的工业信息安全问题。企业根据自身需求，实施工业信息安全管控数智化建设：

1) 定期对关键工业控制系统开展信息安全风险评估；在工业主机上安装正规的工业防病毒软件。

2) 建立工业控制网络、生产网络和办公网络的防护措施，包括不限于网络安全隔离、授权访问等手段；保障关键数据的完整性。

3) 建立工业互联网安全和数据分类分级管理机制，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。

4) 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。

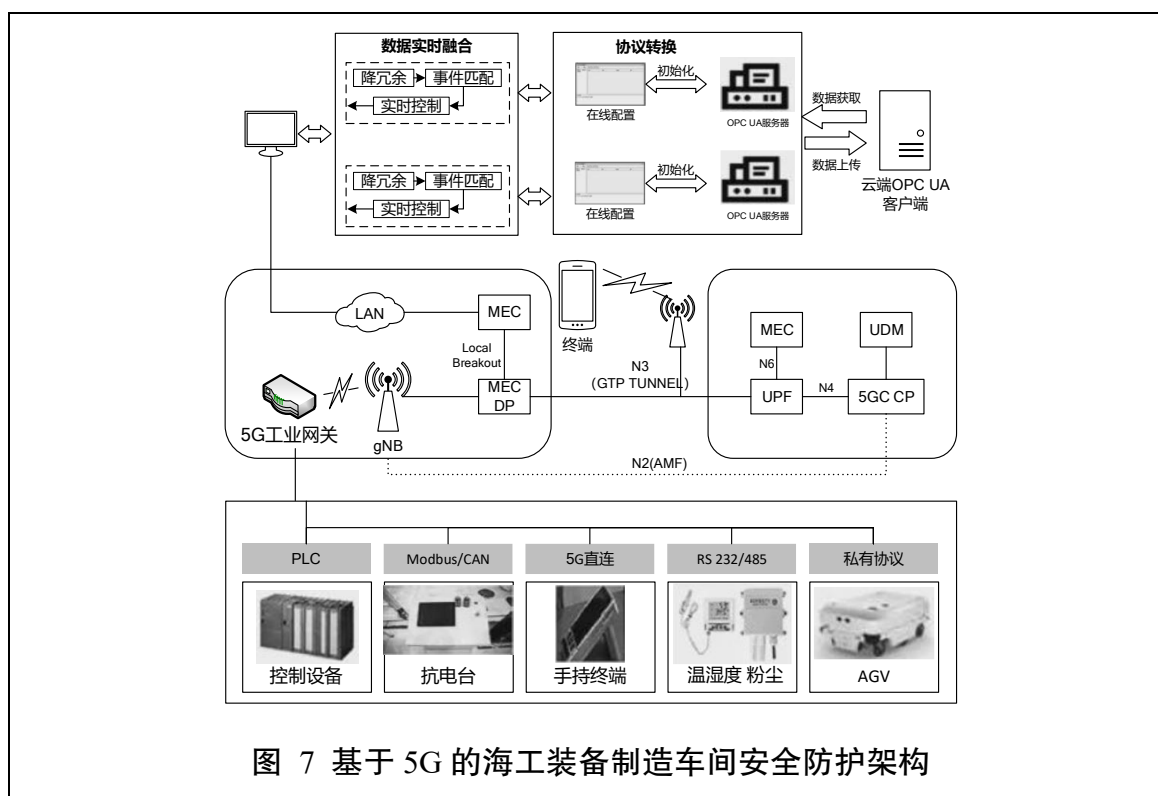
■ 安全防护架构实施案例

针对工业现场机器设备类型和设备接口多样化的现状，海工企业需要采用支持该类主流协议的工业网关以实现异构网络的连接，对工业现场各种机器和设备接口进行统一管理，实现可靠接入，将采集的数据进行底层实时融合以及协议转换。同时，需要将内部网络根据业务功能、安全需求等因素进行合理分段。

某企业实施 5G 物联网安全防护架构，包括接入安全和数据安全。

①接入安全：提供 5G 终端接入的网络准入和访问控制能力，多重的接入控制能确保只有合法的终端和合法的终端用户才能接入 5G 网络。

②数据安全：基于数据不出厂区原则，从 5G 独立专网组网保证业务数据安全，并通过加密等手段做到数据不泄露。



场景 4：数字孪生工厂建设

对于数字化基础较好的头部骨干企业，需要根据产线需要，开展数字孪生场景建设：

1) 构建数字孪生系统的框架，实现设备、产线、车间、工厂等关键元素之一的数字化展示。

2) 实现所有关键工序和风险环节的数字化展示；异构模型融合技术得到广泛应用，实现复杂的系统集成。

3) 实现与物理世界的深度交互，能够进行虚拟模型和物理模型的双向控制和优化，以优化运营效果。能够根据历史数据和实时反馈进行智能调整。

■ 基于模型的双生船厂案例

某企业开展基于真实模型的双生船厂规划建设：构建孪生模型，基

于模型孪生船厂内所有产品、设备均基于真实三维模型，模型中包含设计信息、建造工艺、施工进度等信息，助力船舶建造决策。

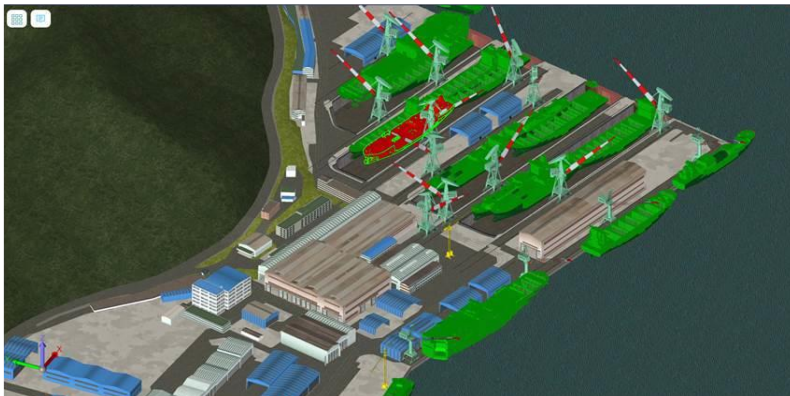


图 8 基于模型的孪生船厂

（二）研发设计环节

研发设计主要包括产品设计和工艺设计，“智改数转网联”主要包括：

- （1）开展产品和工艺数字化研发设计；
- （2）开展产品、工艺的数字化研发设计和仿真迭代，应用智能化设计工具，实现产品设计、工艺设计数据统一管理和协同；
- （3）对于数字化基础比较好的企业，需要开展产品、工艺协同研发设计、集成建模和仿真，实现基于模型和数据的系统优化；
- （4）探索数据与知识驱动的研发设计创新，开展虚拟验证和中试。

1、存在的主要问题

目前，海工装备企业在产品设计环节具备了较好的数字化设

计基础。骨干企业基本建立了三维产品设计模式，三维设计软件、设计管理（图文档管理、设计计划等）软件、设计 BOM 管理软件应用覆盖率超过 70%。但是，在多专业协同设计、设计信息完整性方面存在诸多不足，特别是跨阶段的设计协同问题是制约设计效率和质量的关键因素之一。

首先，因为缺乏全三维设计技术应用，设计数据的“多源”特征导致各相关方的数据和信息载体，难以贯穿设计、建造、试验调试、供应链管理、交付运维全过程，亟需建立“单一数据源”数字化协同设计模式，持续提升基本设计、详细设计、生产设计数字化水平，建立协同设计标准和管理流程，逐步实现基于三维模型的研发设计体系。

其次，研发设计多阶段重复建模问题突出。在产品过程采用多种设计工具，不同设计平台生成的模型架构不统一、难以互联共享，导致在不同设计阶段需要重复建模的突出问题，亟需突破多源异构平台之间的模型交付技术，实现贯穿全设计流程的数字化模型交付，提升协同设计效率，需要加强船舶一体化设计软件平台研发应用，鼓励有条件的企业开展基于统一平台的一体化数字设计。

工艺设计是产品设计的延伸，是为生产提供设计数据、工艺信息的重要环节。目前，海工装备制造工艺设计存在缺乏数字化手段、工艺信息完整性不高、工艺质量低的问题，严重制约海工装备制造效率和质量。

2、典型场景

场景 5：产品数字化研发设计

针对企业实际需求，开展产品数字化研发设计：

1) 对于尚未采用数字化设计的企业，需要开展三维产品设计，实现设计数据或文档的结构化管理及数据共享，实现产品设计流程、结构的统一管理，以及版本管理权限控制、电子审批等。

2) 对于初步建立数字化设计的企业，需要建立典型产品组件的标准库及典型产品设计知识库，在产品设计时进行匹配和引用；三维模型集成产品设计信息，确保研发过程数据源的唯一性。

3) 对于设计基础较好的骨干企业，需要基于产品组件的标准库、产品设计知识库的集成和应用，实现产品参数化、模块化设计；将产品的设计信息、生产信息、检验信息、运维信息等集成于产品的数字化模型中，实现基于模型的产品数据归档和管理。

4) 对于已经建立数字化设计体系的企业，需要基于参数化、模块化设计，建立产品个性化定制平台；基于统一的三维模型，实现产品全生命周期动态管理，满足设计、生产、物流、销售、服务等应用需求；基于产品标准库和设计知识库的集成和应用，实现产品高效设计；应建立产品设计云平台，实现用户、供应商等多方信息交互、协同设计和产品创新。

■ 产品三维数字化设计案例

某企业借助三维设计软件进行产品研发设计，建立数字化设计体系，建立典型船舶产品部组件标准库和知识库。关键功能实现：

1) 船体专业，采用三维设计软件进行曲面建模及平板架建模，从型材库中调用标准的 T 型材、球扁钢等构件，快速搭建起各分段的内部结构，如肋骨框架、舱壁结构等；

2) 舾装专业，从标准化部组件库中调用各类舾装件模型，如锚机、带缆桩、人孔盖等；

3) 管系专业，从标准化部组件库中调用管系部件，如阀门、法兰、弯头等，在船体模型的基础上，进行设备的布局 and 管系的走向设计；

4) 电气专业，进行电缆路径的规划，结合船舶电力负荷计算，确定电缆的规格和敷设路径，同时生成电缆清册和桥架布置图。

5) 结合产品设计过程制定满足企业需求的设计标准，明确建模精度、命名规则等，构建企业内部设计动态标准知识库，支持设计人员在三维建模过程中查询相关建模标准、节点详图等。

6) 应用人工智能辅助设计系统，利用机器学习算法对大量历史设计案例和海洋工程实测数据进行学习和分析。在系泊和动力定位系统设计过程中，系统能够根据输入的设计要求和船舶参数，自动推荐合理的设计方案和参数取值范围，辅助设计人员快速决策，缩短设计周期。

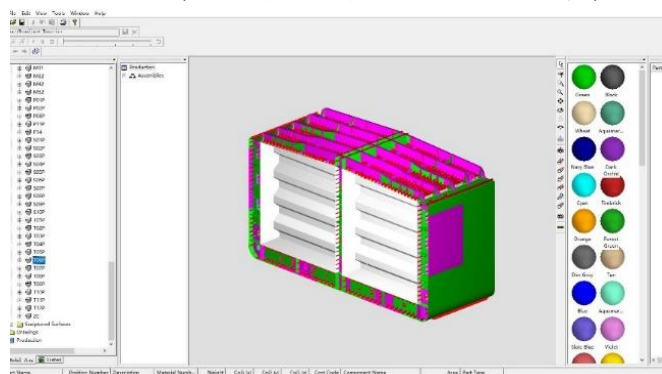
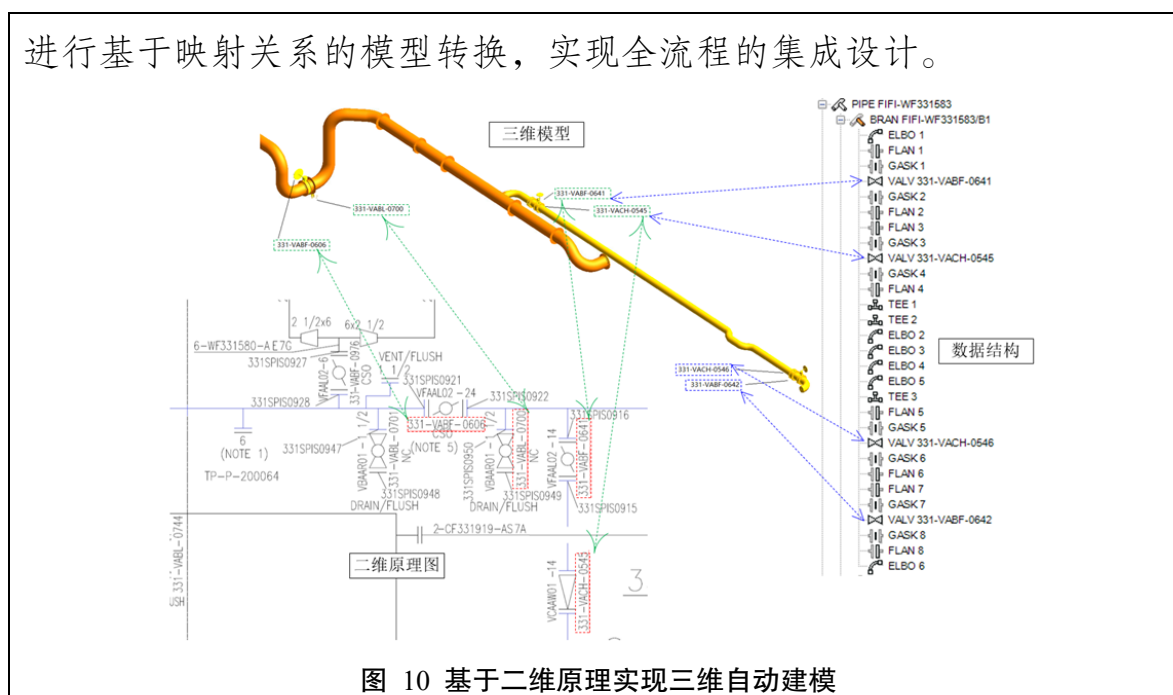


图 9 三维数字化设计

■ 数字模型转换案例

某企业针对二维原理设计与三维生产设计重复建模问题，通过分析各个设计专业在不同设计阶段数字模型的映射关系，解析不同设计软件生成的数字模型结构。在此基础上，应用模型转换系统对不同数字模型

进行基于映射关系的模型转换，实现全流程的集成设计。



场景 6：产品虚拟验证

对于数字化设计基础较好的企业，可以围绕海工产品特征，开展虚拟验证能力建设：

1) 基于三维模型实现对外观、结构、性能等关键要素的设计仿真及迭代优化，实现产品设计与工艺设计间的信息交互、并行协同；

2) 构建完整的产品设计仿真分析和试验验证平台，并对产品外观、结构、性能、工艺等进行仿真分析、试验验证与迭代优化；搭建虚实融合的试验验证环境，应用多物理场动态特性仿真、可靠性分析、AR/VR 等技术，降低验证成本，加速产品熟化。

场景 7：数据驱动产品设计优化

对于头部企业，在数字化设计能力提升基础上，需要进一步探索数据驱动产品设计优化，打通制造端与设计端数据闭环，推

动船舶海工产品设计从经验依赖向科学决策转型。

1) 实时采集建造过程中的材料性能、焊接变形、分段合拢精度等数据，构建多维度设计知识库。

2) 运用仿真模型与历史数据比对，快速识别设计缺陷，实现精准迭代优化。

3) 挖掘数据关联性，主动推荐轻量化结构方案、低碳动力配置或模块化分段设计，压缩试错成本。

4) 通过参数化模型快速生成非标船舶的 BOM 与工艺路线，从根本上提升船舶海工产品的技术竞争力与市场响应敏捷性。

场景 8：数字化工艺设计

以企业既有产线、资源为基础，从业务和系统两方面分析数字化工艺设计与上下游环节集成需求，基于设计部门提供的 3D 模型及装配计划，对船舶中间产品建造工艺进行规划并仿真；通过系统应用，实现基于中间产品 3D 模型的 MBOM 定义、工艺规划、单工位工时定义及分析、资源分配与分析、负荷分析、装配仿真；输出生产过程中各工位 3D 作业指导书，将三维装配工艺信息完整的传递到车间现场，让作业人员以更直观的方式理解各级中间产品的制造工艺流程，消除异议，提高工作质量和效率。

■ 数字化工艺设计系统案例

某企业规划上线数字化工艺设计系统，覆盖数字化工艺设计、设计仿真、模型轻量化、模型下现场等功能，计划投入 600 万元。

关键功能：面向中间产品的生产需求进行工艺规划，进而开展生产

设计，根据生产设计的数据进行装配工艺的详细设计。以三维可视化方式确定装配顺序、装配路径、工序步骤，得到涵盖人、机、料、法、环的完整工艺数据，对装配过程中的关键环节开展仿真模拟，验证工艺方案可行性，调整优化后的工艺设计结果作为现场生产依据。

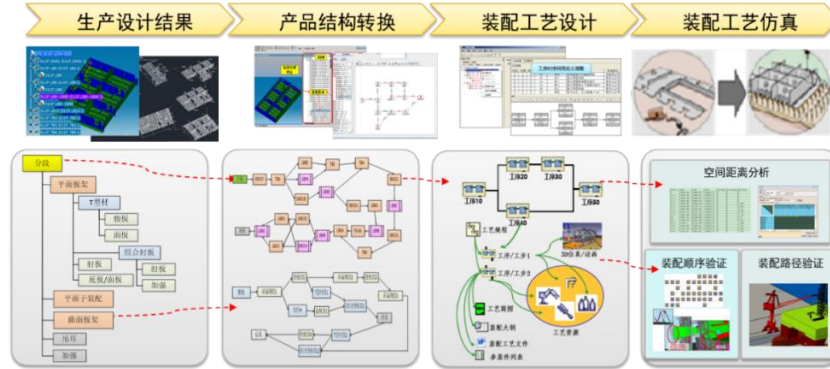


图 11 数字化工艺设计

场景 9：可制造性设计

强化面向生产的设计，重视前期的生产策划，将船厂生产资源作为关键数据要素融入设计流程，制定标准任务包，设计部门按照任务包需求提供图纸和数据，提升设计服务生产水平。加强设计和生产协同规划，建立贯穿设计、生产、管理的编码体系，从技术手段上解决设计和生产对接问题，建立完整的中间产品体系，实施标准化设计。应用计算机辅助设计（CAD）、产品全生命周期管理（PLM）、产品数据管理（PDM），结合优化算法、轻量化、云计算等技术，实现以模型的工作包自动拆解、数字化工作包轻量化交付、建造生产执行信息获取等数字化贯通，提升生产执行的精益化管理水平。不同企业按需开展下述能力建设：

- 1) 开展前瞻性工艺审查。
- 2) 通过历史数据分析，面向效率提升和成本降低提出改善

性方案，优化产品结构，实现工艺不同专业之间的并行设计。

3) 基于工艺设计、生产、检验等系统集成，通过工艺信息下发、执行、反馈、监控的闭环管控，实现工艺设计与制造协同。

4) 基于设计、工艺、生产、检验、运维等数据分析，构建实时优化模型，实现工艺设计和产品设计的协同优化。

■ 产品数据管理系统案例

某企业产品数据管理系统，三期投入 550 万元。

图文档管理：建立完整的数字化图纸库，管理图纸的归档、打印、发放等过程，追溯图纸的变更，跟踪图纸的流转；

设计计划管理：基于项目图纸目录，编制基设/详设、设备 TA、生设的计划并跟踪进度，并对接图纸管理和送退审管理，跟踪对图纸归档、送审、退审实际进度以及退审意见的处理情况；

图纸送退审管理：建立连接船东、船级社、供应商和海工装备企业的平台，基于统一数据源进行 3D 送审、退审，跟踪审图意见；

设计任务管理：管理设计任务工时，优化人力资源配置，累计项目设计工时数据，为后续项目投入提供估算数据基础；

BOM 管理：管理各类 BOM 数据，结构化表达产品组成的物料及层次关系、数量关系，为下游系统提供稳定可靠的数据。

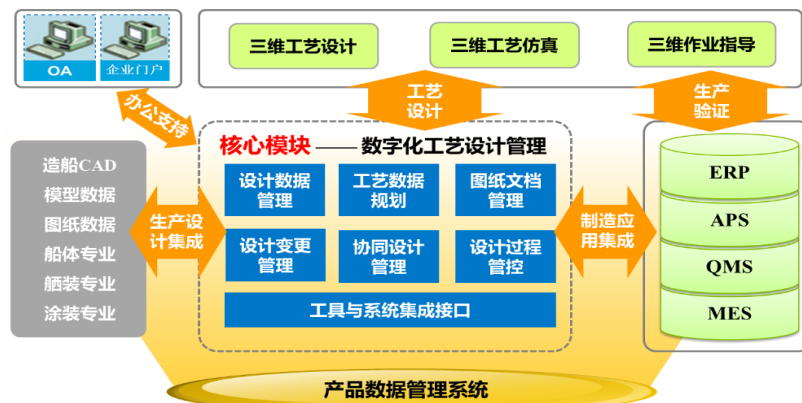


图 12 产品数据管理

（三）生产作业环节

生产作业环节的“智改数转网联”主要包括：

（1）关键装备和工艺数字化升级，关键装备、工序和系统的实时监控，以及关键生产工序自动化作业；

（2）深化数智技术应用，实现关键装备异常预警、关键工序数据在线分析、关键生产过程精准控制、产品关键质量数字化检测；

（3）开展多场景数智技术应用，实现装备运行状态智能分析和故障诊断、过程质量在线检测与控制；

（4）探索人工智能在工艺、装备等方面创新应用，实现生产过程动态优化、智能决策控制、产线动态调整。

1、存在的主要问题

海工装备加工工艺复杂，对设备精度和操作人员技能要求极高。当前部分企业在加工过程中，因设备老化、精度下降，导致加工尺寸偏差较大，废品率较高。同时，新入职操作人员经验不足，培训周期长，难以快速掌握复杂工艺操作要点，进一步影响加工效率与质量。

海工特种管件制造工序繁多且紧密相连，传统生产方式下各工序设备孤立运行，信息传递不畅，容易出现生产节奏不协调、在制品积压等问题，导致生产周期延长，资金周转效率降低。管件焊接质量对海工装备安全运行至关重要，但目前焊接工艺参数

主要依靠人工经验设定，缺乏科学精准的数据分析与优化手段。这使得焊接质量不稳定，容易出现气孔、裂纹等缺陷，焊接一次合格率低，增加了返工成本与质量风险。

模块组装现场空间有限且作业环境复杂，传统组装工艺依赖人工经验与纸质图纸指导，难以实现精确组装定位与高效作业。这导致组装效率低下，组装周期延长，且容易出现模块连接不紧密、密封性能不佳等质量问题，影响海工装备整体性能与可靠性。模块测试过程中，测试数据采集与分析手段相对落后，无法对大量测试数据进行实时处理与深度分析。这使得测试人员难以快速准确判断模块性能是否达标，增加了测试时间与成本，同时也可能遗漏一些潜在的质量隐患，降低了海工装备的安全性。

2、典型场景

场景 10：产线柔性配置

按照企业基础和总体规划，有序开展智能化生产线建设：

- 1) 应用自动化产线。
- 2) 产线自动化程度高，采用模块化、参数化设计理念，关键设备和工作站可以根据需要快速重新配置。
- 3) 实现产线数字孪生，模拟验证产线配置，快速精准响应市场变化。
- 4) 建设高度自适应产线，AI 驱动持续优化，实现零停机换产与最高效率。

船舶海工产品制造流程和工艺过程极其复杂，不同企业可以按照上述步骤，选择合适的产线和车间分步分级开展产线和车间的智能化改造。

场景 10-1：钢材智能堆场

传统的船厂钢材堆场运作模式已无法满足先进的精益化管理需求，从宏观视角审视，钢材堆场的各个作业环节均存在一定程度的人力、物力资源浪费。堆场实施智能化仓储模式的运行，是企业“智改数转网联”的必由之路。通过自动化设备与信息化管理技术深度融合，实现钢材智能仓储管理，提升存储效率与作业精度，强化物流调度协同能力，完善质量安全追溯体系，并构建全流程可视化数据平台，最终达成钢材存储的高效化、精准化和信息化管理目标。

（1）堆场构成及工艺流程

钢材堆场主要承担钢材进厂后的贮存、理料、保管及供应工作，其主要包含钢板的入库、在库、出库管理。

钢板入库作业流程：

- ① 钢板到货后，由码头运送到船厂钢板库；
- ② 船厂钢板库的库管员按要求记录钢板到货信息，并进行钢板质量检验；
- ③ 合格的钢板通过人工吊机吊或程控智能行车运到输送辊道上，辊道自动对钢板尺寸进行测量；
- ④ 检查无误后，根据辊道与智能行车的交互信号，智能行车

自动将钢板运送到指定的垛位摆放并反馈到系统；

⑤库管员再次进行到货钢板信息的核对工作，同时更新系统中钢板的库存。

钢板在库管理流程：

①库管员根据钢板需求变更计划进行在库钢板理料；

②以最小翻垛次数为前提，对需求时间临近的钢板进行堆场内的钢板移库作业。

钢板出库流程：

①库管员根据材料需求，制定钢板出库计划；

②智能行车根据钢板出库计划，将指定钢板吊装到输送辊道上完成出库，后续在系统中进行钢材堆场信息的反馈。



图 13 钢材堆场

（2）设备系统清单

表 1 钢材堆场设备清单

| 序号 | 工位 | 设备 |
|----|------|------|
| 1 | 入库工位 | 智能行车 |

| | | WMS 系统终端 |
|---|--------|----------------------------|
| 2 | 在库堆垛工位 | 智能行车、垛位（根据钢板尺寸规格自行设定） |
| 3 | 出库工位 | 智能行车 钢材堆场管理系统终端 输送辊道 |

（3）实施案例

目前，省内部分企业在智能行车（8 家）、堆场智能监控（14 家）、钢材智能转运车（4 家）等工艺环节进行了智能化改造。诸多成功案例可以为更多企业建设钢材智能堆场提供参考。

■ 钢材堆场案例

（1）钢材堆场运作流程

- ① 钢板原材料用卡车运输进入生产线厂房的钢板存储区（1#库）；
- ② 1#库配置 2 台手动吊机，起重能力分别为 40 吨和 16 吨，配置真空吸盘吊具，可以吊运单张钢板。
- ③ 两库分别设置一个 WMS 终端(PDA 和 PC)，手工维护钢板入库。
- ④ 钢材堆场 2#库设置钢板堆位 43 个，每个堆位面积 3.2*12m，地坪的载荷为 5t/m³，最大堆高 500mm，在满足以上条件的前提下，按规格堆放钢板。
- ⑤ 2#库配置 16 吨自动吊机，可以自动从板材卸料点抓取钢板，存放到预设的堆位上，并记录位置信息。后期可根据需求清单，自动出库。
- ⑥ 板材规格满足设备要求。板厚范围 4-60mm；宽度范围 1000-3300mm（±25mm）；长度范围 6000-16000mm。
- ⑦ 2#库出于安全原因，堆垛上钢板最大变形量小于 100 毫米。

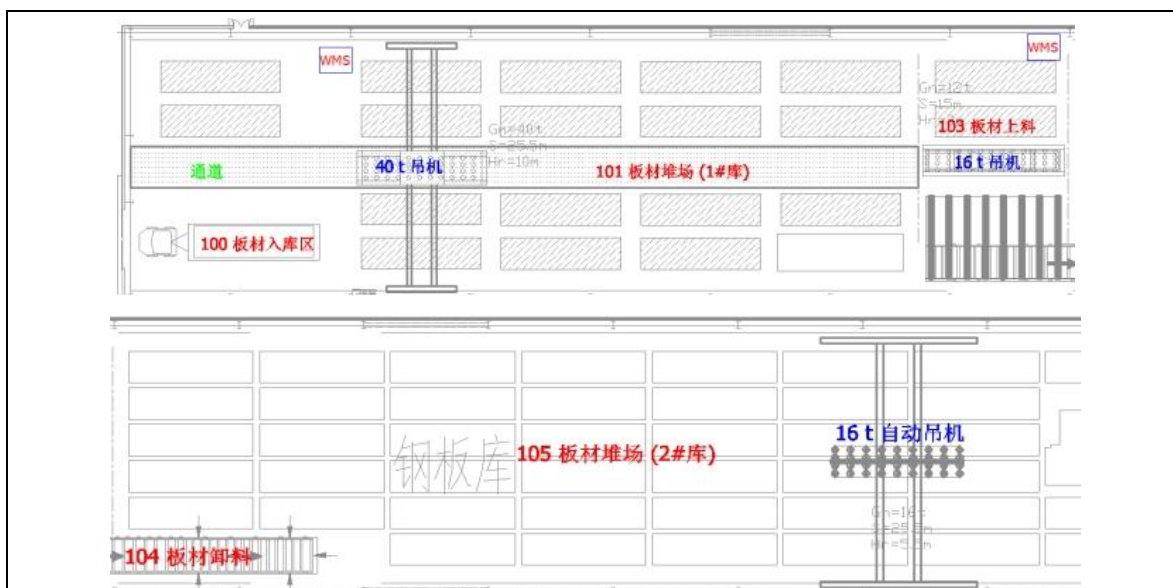


图 14 钢材堆场布置

（2）设备投入

项目总投资投入 2400 万元，主要购置桥式起重机 2 台、智能行车 1 台、龙门吊 1 台、DIG 辊道 1 套、WMS 终端 1 套、WMS 终端 1 套。

（3）关键工艺过程

智能行车吊运：通过 WMS 系统发出的钢板出入库计划自动完成钢板的出入库作业。

（4）产线效益

通过引入钢材堆场的智能化管理，实现了钢板全流程的数字化与自动化管控。结合 WMS 系统，不仅能动态优化钢板出库优先级，大幅度降低库存中滞留的钢板数量，还能实现从原材料到分段成品的全生命周期追溯，显著提升钢板出入库效率以及钢板利用率，进而加速生产进程。

场景 10-2：钢材预处理生产线

钢材预处理是对钢材进行表面处理和防护的关键环节，主要用于清除钢材表面的氧化皮、锈蚀物及杂质，并喷涂底漆，为后续切割、加工和焊接提供符合工艺要求的清洁表面。在船舶建造

过程中，钢材用量巨大，其表面状况直接影响后续工序。未经预处理的钢材，表面的铁锈、油污等杂质，会降低焊接质量，导致焊缝易出现气孔、裂纹，影响船体结构强度。钢材预处理生产线主要功能包含表面清理、防护涂层施工、自动化流程管理、环保与安全管控、质量检测与追溯等

（1）产线构成及工艺流程

钢材预处理生产线通常有上料、抛丸除锈、喷漆、烘干和下料等工位。

①上料：将待处理的钢材吊运到钢材输送系统的上料端，通过辊道或传送链将钢材缓慢送入预处理线。

②抛丸除锈：钢材进入抛丸除锈区域后，抛丸机开始工作，弹丸高速抛射到钢材表面，去除表面的铁锈、氧化皮等杂质，使钢材表面达到一定的粗糙度和清洁度，为后续的喷漆工序提供良好的基础。

③喷漆：经过抛丸除锈后的钢材进入喷漆房，喷枪根据设定的参数将涂料均匀地喷涂在钢材表面。喷漆的厚度和质量需要根据船舶建造的相关标准和要求进行控制，确保涂料能够有效地保护钢材表面。

④烘干：喷漆后的钢材进入烘干室，在加热装置的作用下，涂料中的溶剂逐渐挥发，涂料逐渐干燥固化。烘干过程中需要严格控制温度和时间，以避免出现涂料开裂、起泡等质量问题。

⑤下料：经过烘干后的钢材达到了预处理的要求，通过钢材

输送系统输送到下料端，然后由吊运设备将钢材吊运到指定的存放区域，等待后续的加工和使用。



图 15 钢材预处理生产线

（2）设备清单

表 2 钢板预处理生产线设备清单

| 序号 | 工位 | 设备 |
|----|--------|--|
| 1 | 上料工位 | 吊车、吊具、上料辊道 |
| 2 | 抛丸除锈工位 | 抛丸机 弹丸循环系统 吹扫机构 除尘系统 输送辊道 |
| 3 | 喷漆工位 | 喷枪 涂料供应系统 通风装置 输送辊道 漆雾处理设备 |
| 4 | 烘干工位 | 烘干室 加热装置 |

| | | |
|---|------|------------------------------|
| | | 温度控制系统 输送辊道 通风系统 |
| 5 | 下料工位 | 下料辊道 吊装设备 检测设备 标识设备 |

（3）实施案例

目前，省内头部骨干企业多数都建立了钢材预处理生产线（22 条）。然而，因为各企业实际需求存在差异，其产线也面临升级换代的迫切需求。诸多成功案例可以为更多企业开展智能化钢材预处理线建设提供参考。

■ 钢材预处理智能生产线案例

（1）产线参数

钢材预处理生产线长 4.5m，包含钢材的上料、清扫预热、抛丸除锈、喷漆烘干、钢板矫平以及印字划线等工序。该生产线能够对尺寸为 14.5 米长、3.2 米宽的板材进行一次性处理。预处理流程首先与中控室连接，并引入视觉识别系统以实现自动下料功能。

（2）设备投入

项目投入 1100 万元，配置上料输送系统、预清扫系统、预热系统、抛丸除锈系统、喷漆系统（采用 4 个无气喷枪，上下各 2 个）、烘干系统、除尘系统、有机废气处理系统、型材矫直机系统、控制系统等，预留型材立体库工位。

（3）关键工艺过程

1. 现有钢材预处理生产线抛丸系统抛丸机采用八字形布置，抛丸机

有对打现象，易损件多，护板损耗大，设备损坏率高，改造后抛丸系统抛丸机一字形布置，易损件少，钢丸损耗件少，适用于钢板除锈，钢板预处理速度提升 50%。

2. 喷漆小车轨道采用上下双轨道，喷漆小车在运行过程中不发生抖动，运行平稳，保证喷漆均匀，漆膜厚度在 15-25mm 可调，同时提高预处理喷漆速度和预处理效率。

3. 采用总控 PLC+分站模式的自动控制以及光电检测，控制方式采用自动和手动两种方式，同时具有数据统计传输功能，生成相应的报表，预留 MES 接口，可以直接接入生产管理系统。

（4）产线效益

预处理速度从 4m/min 提高到 6m/min，设备运行效率提升 50%，每年可节约人工费用 84 万元，节约能源费用 69 万元，节约钢砂成本 25 万元，合计效益收益 187 万元。

场景 10-3：条材切割生产线

条材切割主要用于对各类条材进行高精度、高效率的切割加工，满足船舶结构件、管系、机械部件等制造需求。在船舶生产中，条材切割是基础且关键的环节。传统切割方法多依赖人工，效率低下，难以满足大规模订单需求，并且人工切割受技术水平和疲劳度影响，产品质量参差不齐。条材切割生产线可以实现高精度切割、多类型条材兼容、自动化与智能化生产、坡口加工集成、除尘与安全防护、质量检测与追溯等功能。

（1）产线构成及工艺流程

条材切割生产线包括上料、切割、检测、下料等工位。

①上料：将条材从仓库或存放区搬运到上料工位的料架上。

上料设备将条材逐一放置到输送装置上，输送装置将条材输送到切割工位。在输送过程中，会对条材进行初步的定位和对齐，以确保切割位置准确。

②定位：条材到达切割工位后，通过定位装置对其进行精确定位，确定条材的切割起始位置和方向。定位装置可以采用机械定位、光电定位或激光定位等方式，确保条材在切割过程中的位置精度。

③切割：根据预先编写的数控程序，切割设备的切割头按照设定的切割路径和参数对条材进行切割。切割过程中，切割设备会根据条材的材质和厚度自动调整切割速度、功率等参数，以保证切割质量。同时，切割工位的传动机构精确地带动切割头移动，实现高精度的切割。

④检测：切割完成后，条材被输送到检测工位。检测人员或检测设备对条材进行质量检测，将检测数据与预设的质量标准进行对比。对于不符合质量要求的条材，会进行标记并单独放置，以便后续进行返工或报废处理。

⑤下料：检测合格的条材被输送到下料工位。下料设备将条材从输送装置上取下，放置到下料平台或指定的收集区域。下料机器人可按照预设的规则对条材进行分类整理和包装，以便于运输和存储。同时，对切割过程中产生的废料和边角料进行收集和處理，可根据实际情况进行回收再利用或统一废弃处理。



图 16 条材切割生产线

（2）设备清单

表 3 条材切割生产线设备清单

| 序号 | 工位 | 设备 |
|----|------|-------------------------------------|
| 1 | 上料工位 | 料架 输送装置 上料机器人 定位装置 |
| 2 | 切割工位 | 切割设备 切割头 传动机构 数控系统 辅助装置 |
| 3 | 打磨工位 | 打磨平台 |
| 4 | 下料工位 | 输送装置 下料平台 下料机器人 包装设备 |

（3）实施案例

目前，省内头部骨干企业在条材切割环节纷纷开启智能产线建设（12家），建设成效较为显著。相关实施案例可以为更多企业开展条材智能切割线建设提供参考。

■ 条材切割流水线案例

（1）产线参数

产线规格为 63.5 米×13.5 米，设计产能年切割条材 30 万个零件（按照每月切割 2.5 万个零件），实际产能为 1000 件/2 班（2 条线），配员 9 人/2 班（2 条线），耗时 0.08H/件，相比传统加工方式，效率提升 240%，切割精度提高 65%。

（2）设备投入

项目总投资为 960 万元，由板条火焰切割机、材料输送装置、清渣倒棱设备、自动分料平台、机器人编码划线系统、机器人切割装置、出料输送打磨平台、打磨粉尘处理系统、切割烟尘自动收集处理系统以及电气控制系统等关键部分构成。

（3）关键工艺过程

1.板条自动清渣倒棱，清除切割面残留割渣，减少人工打磨量。

2.两条线共用一个倒棱和分料平台，通过激光传感器对条材轮廓进行快速扫描检测，自动识别条材规格，将条材信息数据与待加工零件信息进行匹配，并迅速锁定该条材待加工的零件程序，由此完成材料与加工程序的一一对应，按照切割指令任务，把条材自动分到指定线上进行切割加工。

3.采用自动化喷墨划线打印系统，对零件号、分段号、船名，以及装配线、逆直线等线型的标记，改变人工放样划线和编码，进一步提高工效。

4.应用软件读取 TRIBONM3/AM 生成的型材零件 gen 文件，能够按

照分道要求进行分组，套料机生成切割指令和零件详图，能够读取型材设计系统输出的套料接口文件，以上作为输入条件，转换输出切割机器指令，驱动设备所有功能运行。

（4）产线效益

根据每月生产 2.5 万个零件的产能计算，目前采用人工配合 3 台等离子切割机加工，需耗时 28 天，总工时为 6804 小时；而采用流水线切割加工，则需 25 天，总工时为 2000 小时，效率提升了 3.4 倍。流水线切割相较于人工方式，每年可节约标准煤 165.86 吨，节省能源成本 116.2 万元。预计投资回报周期为 2.94 年。

场景 10-4：型材切割生产线

型材切割主要用于对各类金属型材（如扁钢、球扁钢、角钢、槽钢、工字钢等）进行自动化切割、加工。传统型材切割方式效率低，人工操作易受干扰，速度慢且精度差，难以满足大规模生产需求。型材切割生产线借助高精度设备与先进控制系统，可以精准把控参数，确保切割面平整光滑、偏差极小，有效减少返工，满足船舶建造、海洋工程结构件的高精度加工需求，其主要功能包含型材切割、高精度加工、产线信息化、坡口加工集成、除尘与安全防护、质量检测与追溯等。同时，其配套的套料软件能合理排版，提升材料利用率，降低成本。

（1）产线构成及工艺流程

型材切割生产线可自动完成扁钢、球扁钢、角钢的上下料、输送、打码划线及切割等工位。

① 型材上料：操作人员使用吊装设备将型材吊运到上料工

位的辊道或传送带上，通过输送装置将型材输送到切割工位的起始位置。在输送过程中，对型材进行初步的定位和对齐，以确保切割的准确性。

②切割准备：切割设备根据预先输入的切割程序和参数进行初始化设置，包括选择切割方式（如火焰切割、等离子切割）、调整切割速度、气体流量、切割高度等参数。同时，操作人员需要检查切割设备的喷嘴、电极等易损件是否正常，如有需要及时更换。

③型材切割：切割设备按照预设的切割路径对型材进行切割。在切割过程中，控制系统会实时监控切割状态，如切割速度、切割电流、电压等参数，确保切割过程的稳定性和准确性。切割产生的熔渣和废气会通过排渣装置和通风系统及时排出，以保持工作环境的清洁。

④质量检测：切割完成后，切割好的型材会被输送到下料工位。在这个过程中，操作人员或专门的质检员会对型材的切割质量进行检查，主要检查切割尺寸是否符合要求、切割面是否平整光滑、有无切割缺陷（如毛刺、缺口、变形等）。对于不合格的型材，会进行标记并单独存放，以便进行返工或报废处理。

⑤型材下料与整理：经过质量检测合格的型材，由下料工位的卸料装置将其输送到指定的堆放区域，并按照规格、型号、批次等进行分类整理和堆放。同时，对切割过程中产生的废料和边角料进行收集和处理，以便回收或统一处置。



图 17 型材切割生产线

（2）设备清单

表 4 型材切割生产线设备清单

| 序号 | 工位 | 设备 |
|----|------|---|
| 1 | 上料工位 | 吊装设备 上料架 自动上料机构 定长送料机构 输送装置 |
| 2 | 切割工位 | 数控切割设备 操作控制台 冷却装置、排渣装置 编程系统 |
| 3 | 下料工位 | 卸料装置 质量检测工具 兜带式下料系统 |

（3）实施案例

目前，省内头部骨干企业在型材切割环节智能化建设占比较

高（17家），建设成效也较为显著。相关实施案例可以为更多企业开展型材智能切割线建设提供参考。

■ 型材切割生产线案例

（1）产线参数

型材切割生产线主要承担型钢（不等边角钢、等边角钢、球扁钢、扁钢）边缘清理、切割、划线、喷码等任务。设计产能为切割2600根母材/月，按照每月产能7150件零件计算。实际产能为200根/2班（两条线），配员10人/2班（两条线），耗时0.444H/根，相比传统人工切割效率提升126%，加工精度提高77.93%（以5-15mm规格型钢断面切割精度 $\pm 1\text{mm}$ 以内相比，机器人切割精度比手工从22.07%提高到100%）。

（2）设备投入

投资金额1600万元，配置机械手4个，主要购置备料输送平台、机器人喷码打印、边缘清理、送料小车、机器人切割装置、出料输送平台、电气控制系统等。

（3）关键工艺过程

1.型钢切割加工流水线作业，钢板吊运裁条滚动平台，进入型钢流水线进行集中切割加工，改变现有分散切割，原材料来回转运加工工艺，提升生产管理。

2.型钢自动打磨，清除根部油漆，为后道工序纵骨焊接提供便利并减少人工打磨量。

3.通过激光传感器对板条轮廓进行快速扫描检测，自动识别型材规格，将型材信息数据与待加工零件信息进行匹配，并迅速锁定待加工的零件程序，完成材料与程序一一对应。

4.六轴机器人能在任意位置上运作，重复定位精度 $\leq \pm 0.2\text{mm}$ ，满足型材切割精度要求，进一步提高切割效率和切割精度，改变手工劳动强度大，切割精度低的问题，满足智能化需求。

（4）产线效益

每年可节约人工费用 70 万元，节约其他费用 3 万元（劳保、餐费、住宿等），节约能源费用 55 万元。每年能源消耗可节约 82 吨标煤，减少人工 7 人，效率提升 2.2 倍。投资回报周期为 2.9 年。

场景 10-5：小组立智能生产线

小组立主要用于将切割、预处理后的钢材（如钢板、型材）组装成小型结构件（如肋骨框架、舱壁模块、设备基座等），是船舶分段建造的前置环节。传统制造模式下，各工位全部为人工完成，占用人力、设备、场地资源较多，工作效率低。小组立智能生产线核心目标是通过自动化、信息化技术提升小组立的装配精度、生产效率和质量稳定性，其主要功能包含零件自动识别与定位、自动化装配与焊接、智能物流与信息流管理、自适应工艺调整、质量检测与闭环控制等。

（1）产线构成及工艺流程

小组立智能生产线包括进料、装配、焊接、打磨、修补出料等工位。

- ①通过运输车将小组立材料运输至缓冲区；
- ②由智能行车将相应的小组立材料吊运至施工区域；
- ③由智能化装配装置，对小组立件进行自动装配；
- ④装配完成的小组立件，通过流水线输送到焊接工位，由焊接工位的智能焊接装置完成焊接；
- ⑤焊接完成的小组立件，由流水线输送到打磨工位，由工人

对小组立件进行打磨及质量检验；

⑥检验合格的小组立件，由智能集配系统，将小组立件进行集配。

通过智能设备应用，融合复合视觉技术、3D 模型数据库、机器人运动控制技术，小组立智能生产线实现对工件需焊接位置的自动识别、测量、定位，自主编程、自动启动作业程序与调用工艺参数，真正做到多种规格的小组立工业机器人自动识别定位、装配后的组立件自动焊接。



图 18 小组立智能生产线

（2）设备清单

表 5 小组立智能生产线设备清单

| 序号 | 工位 | 设备 |
|----|------|---------------------|
| 1 | 进料工位 | 吊车、吊具 |
| 2 | 工件运输 | 辊道 |
| 3 | 装配工位 | 自动组对设备 |
| 4 | 焊接工位 | 焊接移栽设备* 焊接机器人系统* |

| | | |
|---|------|--|
| | | 智能焊接系统*（视觉系统、线扫系统、工控机、智能焊接软件）焊丝矫正装置 焊枪系统* 清枪剪丝机构* 焊接电源及送丝机构* 防尘系统 PLC 系统* 监控系统 |
| 5 | 背烧工位 | 检测系统 自动背烧装置 |
| 6 | 打磨工位 | 自动打磨系统 |
| 7 | 下线缓存 | 吊车、吊具 |

智能焊接为小组立线核心环节，*为关键必选设备。

（3）实施案例

目前，在中小组立环节，省内企业建设的智能化产线还不多（小组立 11 家，中组立 3 家）。作为分段建造的关键环节，企业还需要在该环节，加大投入。相关实施案例可以为更多企业开展组立智能生产线建设提供参考。

■ 小组立智能生产线案例

（1）产线参数

总长 84m×总宽 6.5m，包括进料工位（人工）、装配工位（人工）、机器人焊接工位（自动）、背烧工位（自动）、修补出料工位（人工）；小组立尺寸范围 20m×3.5m×1.15m（长×宽×高）；设计产能 560m/2 班，配员 18 人/2 班，耗时 0.257H/m。

（2）设备投入

投入 900 万元；配置辊道 1 套、焊接移载设备 2 套、焊接机器人系统 4 套、智能焊接系统 2 套、焊丝矫正装置 2 套、焊枪系统 4 套、清枪剪丝机构 4 套、焊接电源及送丝机构 4 套、防尘系统 2 套、PLC 系统 2 套、监控系统 2 套、自动检测+背烧装置 1 套。

（4）关键工艺过程

1.智能焊接工艺：获取三维模型→解析获取焊接信息→模型与小组立匹配→焊缝精准定位并焊接。

2.通过设计周边软件获取三维模型；解析模型，获取小组立基准点、焊缝位置、筋板板厚、节点形式、包角留焊/不留焊、焊接不可达区域等信息，并自动匹配相适应的焊接工艺，自动生成焊接路径；匹配模型与待焊接小组立，并进行基准点标定；机器人进行焊缝精定位，根据焊接路径和焊接工艺进行自动焊接并包角，完成小组立的焊接生产。

（4）产线效益

装焊效率提升 75%，年节约成本 187 万元；投资回报周期：4.8 年。

场景 10-6：T 型材装焊生产线

T 型材作为船舶结构关键部件，传统装焊方式依赖大量人工，效率低、质量波动大，难以契合现代船舶建造的规模与精度要求。T 型材装焊生产线是专门用于制造 T 型结构件（由腹板和面板垂直焊接而成，如船体肋骨、纵桁等）的自动化生产线，实现 T 型材从零件装配、焊接到矫正的全流程自动化，提升生产效率、装配精度和焊接质量；其主要功能包含自动化零件装配、高效焊接与变形控制、焊后矫正与质量检测、智能物流与工艺集成等。

（1）产线构成及工艺流程

T 型材装焊生产线包括备料、面板打磨倒棱、T 型材组立、T 型材焊接和 T 型材矫正等工位。

①备料工位将采购的钢材按照设计尺寸进行切割下料，加工出符合要求的腹板和面板零件，并分别放在托盘内运至生产线指定的上料区。

②将面板吊放入打磨倒棱机输入辊道上，面板进行割渣打磨，并进行面板自动倒棱。

③腹板定位装置打开，经打磨倒棱后的面板自动输送至组立输入辊道上，将腹板平吊放在腹板定位装置上，并翻转 90 度，腹板定位装置自动将腹板定位。

④定位好的 T 型材由输送辊道送入组立定位焊装置内进行精对中，由定位焊装置快速定位点焊。

⑤组立定位焊的 T 型材经定位焊输出辊道输出并由 T 型材横移出料装置自动将工件移出辊道并储存，储存一定数量后进行流转。

⑥将多根工件同时转运到焊接平台上并自动夹紧，多电极门焊机运行至工件的端部，启动焊接系统对多根 T 型材进行电子自动跟踪焊接，同时对多工位焊接平台进行工件准备夹紧等待焊接。

⑦焊接完成的 T 型材转运至 T 型材矫正机输入辊道，可就 T 型材的面板角变形进行矫正、对 T 型材的上拱和旁弯变形

进行矫直，经矫正后的 T 型材进行转运存储。

生产线采用定位夹具、自动化的焊接设备和严格的焊接工艺控制，有效保证 T 型材的组装精度和焊接质量，减少人为因素导致的质量问题，提高产品的一致性和稳定性。



图 19 T 型材装焊生产线

（2）设备清单

表 6 T 型材装焊生产线设备清单

| 序号 | 工位 | 设备 |
|----|--------|---|
| 1 | 备料工位 | 数控火焰切割机 数控等离子切割机 |
| 2 | 打磨倒棱工位 | 面板打磨倒棱输入辊道 面板割渣打磨机 面板倒棱机 面板打磨倒棱输出辊道 |
| 3 | 组立工位 | 腹板定位装置 面板定位装置 定位焊输入辊道 T 型材组立机 定位焊输出辊道 |

| | | |
|---|------|--------------------|
| | | T 型材横移出料装置 |
| 4 | 焊接工位 | 焊接平台 多电极门型自动焊接机 |
| 5 | 矫正工位 | T 型材矫正机 前后动力辊道 |

（3）实施案例

目前，省内企业建设的 T 型材装焊智能化产线占比较高（16 家），成效也较为显著。相关实施案例可以为更多企业开展 T 型材装焊生产线建设提供参考。

■ T 型材装焊生产线案例

（1）产线参数

T 型材自动生产线用于船体 T 型材的自动预拼、组立、面板打磨、面板倒棱、T 型材焊接和矫正，生产线设面板和腹板自动上料、T 型材预拼、组立、面板打磨、面板倒棱，T 型材焊接和 T 型材矫正 3 部分。该生产线的设计产能达到每班 1280 米，配备 3 名操作人员，生产线每班能完成 80 根长 16 米 T 型材的组立、倒棱、焊接和矫正。

（2）设备投入

项目总投资为 750 万元，涵盖了组立工位，包括腹板、面板自动上料门架、腹板定位装置、面板定位装置、定位焊输入辊道、T 型材打磨组立倒棱一体机、定位焊输出辊道、T 型材横移出料装置、焊接平台、12 电极门型自动焊机、T 型材矫正机等设备组成。

（3）关键工艺过程

1. 经数控多头切割机切割的 T 型材面板、腹板分别放在托盘内运至生产线指定的上料区。

2. 腹板定位装置与面板定位装置自动打开，自动上料门架将面板自动平吊放入 1#组立定位焊装置前输送辊道上，面板定位装置对中，自动

上料门架将腹板自动平吊放在腹板定位装置上，并翻转 90 度，腹板定位装置自动将腹板定位。用同样的方式将面板、腹板放在 2#线上。（循环进行上料）

3. 定位好的 T 型材由输送辊道送入 1#组立定位焊装置内进行精对中，由定位焊装置快速定位点焊并通过面板打磨机进行面板的挂渣和氧化皮进行打磨，通过倒棱机将面板实现自动倒棱。

4. 经组立定位焊、打磨和倒棱后的 T 型材分别经定位焊输出辊道输出并分别由 T 型材横移出料装置自动将工件移出辊道并储存，储存一定数量后转运。

5. 将 6 根工件同时转运到焊接平台上并自动夹紧，多电极门焊机运行至工件的端部，启动自动跟踪模式，焊枪自动移至焊接起始位置，启动焊接系统同时对 6 根 T 型材进行电子自动跟踪焊接。同时可转运另外 6 根工件到焊接平台另一工位进行焊前夹紧等待焊接。

6. 经焊接完成的 T 型材转运至 T 型材矫正机输入辊道，可就 T 型材的面板角变形进行矫正、对 T 型材的上拱和旁弯变形进行矫直，经矫正后的 T 型转运运出。

（4）产线效益

该生产线具备加工长度为 4-16 米的规则 T 型材的能力，年（按 300 天）产量可达 384000 米，大约相当于 24000 根（8 小时单班，每根长度为 16 米）。与传统人工作业相比，流水线的建设减少了 54692 小时的劳动力需求。此外，加工所需场地面积从现有的 2010m² 缩减至 1170m²，节省了 640m² 的场地资源。生产效率提升了 14.8 倍，实际产能达到每班 1280 米，每班配备 3 名工作人员，每米耗时为 0.00625 小时，效率提升了 165.6%。年节约成本达 305.8 万元，投资回报周期为 2.45 年。

场景 10-7：曲面辊压流水线

传统的水火矫正工艺用于球面板、马鞍形板和扭曲面板等双

曲面船体外板加工时，存在硬化和破坏材料属性的问题，影响板材质量和后续装配。为提升外板加工能力，提高产品质量和生产效率，减少人工成本和能源消耗，实施曲面辊压流水线建设。曲面辊压流水线是用于加工具有复杂曲面形状的船体结构件（如船用肋骨、艏艉柱、弧形板材等）的关键生产线，主要通过辊压成型技术实现板材或型材的曲面加工。

（1）产线构成及工艺流程

曲面辊压流水线主要包括外板切割下料、压制、滚压、测量、成品出料等工位。

- ①首先对外板进行切割下料，将板材加工成所需的初始形状；
- ②利用油压机和曲面外板冷压机对板材进行压制；
- ③压制后的板材在冷压机的工装上来回辊压，由半门式吊车配合移动板材；
- ④在加工过程中，对板材进行测量，确保加工精度；
- ⑤最后，将符合要求的成品出料。



图 20 曲面辊压流水线

（2）设备清单

表 7 曲面辊压流水线设备清单

| 序号 | 工位 | 设备 |
|----|--------|--------------|
| 1 | 切割工位 | 数控切割机 |
| 2 | 压制工位 | 油压机 |
| 3 | 滚压工位 | 冷压机 半门式吊车 |
| 4 | 测量检验工位 | 精度测量设备 |

（3）实施案例

曲面成型是海工产品制造过程智能化难度最大的环节。目前，省内企业仅有几家头部骨干企业建立了曲面辊压流水线。企业还需要在该环节加大投入。相关实施案例可以为更多企业开展曲面辊压流水线建设提供参考。

■ 曲面辊压流水线案例

（1）产线参数

整条产线长 32m×宽 11m，有效作业区域 80m×14.9m。设计产能为每月 275 块曲面外板，产能 5 块/班，配员 1 人/班，耗时 1.6H/块，相比传统人工水火矫正效率提升 65%。

（2）设备投入

项目总投资 800 万元，主要用于购置 1250T 油压机、500T 曲面外板冷压机、半门式吊车等设备，以及建设液压和电气装置单元、控制单元等。

（3）关键工艺过程

采用曲面外板冷压机结合 1250T 油压机，对双曲面板一次加工冷压成型，无需水火矫正。冷压机整合两台吊机移动板材，实现来回辊压。

所有电气控制集成在中控台，通过 PLC 程序控制辊压、液压、联动单元，压力和行程可精准调节，辊压行程精度范围在 $\pm 1\text{mm}$ 。

（4）产线效益

相比传统人工水火矫正，应用曲面辊压流水线加工后的板材无需留余量可直接装配，提高了外板加工能力，保证了产品质量。加工效率提升 9 倍，每年可节约人工费用约 147 万元，节约能量 32 吨标煤/年，节约能源费用约 10 万元，年节省金额达 157 万元，投资回报周期 4.8 年。

场景 10-8：平面分段流水线

平面分段是船舶海工制造最主要中间产品。平面分段流水线是用于加工船体平面分段（如甲板、舱壁、底板等平面结构）的核心生产线，主要通过自动化设备实现钢板拼焊预处理、切割、纵骨安装焊接、肋板装配焊接及检测等工序的集成化生产。传统平面分段建造方式效率低、质量波动大。平面分段流水线主要功能包含平面分段全流程加工、高精度与标准化生产、自动化与高效生产、多品种适应性与柔性生产等。

（1）产线构成及工艺流程

平面分段生产线包括预拼板、正面焊接、钢板翻身、反面焊接、划线、纵骨安装、纵骨焊接、修补打磨、肋板压入、肋板纵桁装配、肋板纵桁焊接、顶升运出等工位。

①预拼板工位：设有钢制平台、钢板纵横向调整装置及钢板输送装置等。钢制平台有足够的刚性，能承受电磁吊具、真空吊具和钢板的垂直冲击。钢板通过吊具吊入平台上，通过纵横向调整装置将钢板对正，人工完成定位点焊。

②正面焊接工位：对拼好的板列进行正面焊接。

③钢板翻身工位：配置有钢板180度翻身装置，焊接好的板列在此工位进行180度翻身。此工位另配置有气刨机，可以对翻身后的板列进行反面气刨处理。

④反面焊接工位：翻身后的板列利用钢板输送装置运送至此工位，进行反面焊接。

⑤划线工位：焊接完成后的板列利用钢板输送装置运送至此工位，钢板在本工位完成纵骨的划线。

⑥纵骨安装工位：配置有纵骨安装机，由行车将纵骨吊至板列上，并预放到位，然后由纵骨安装机的电磁铁吸附纵骨，使纵骨完全与底板划线重合。手工定位焊接，完成纵骨的自动安装。

⑦纵骨焊接工位：配置有纵骨焊接机，可同时就多根纵骨进行焊接，该机的焊缝跟踪采用电子接触式传感自动跟踪，具备自动寻位功能，启动自动跟踪模式，焊枪自动移至焊接起始位置，该设备还配置了焊烟净化系统，用于吸附焊接产生的烟尘。

⑧修补打磨工位：纵骨焊接后的板列进行修补打磨。

⑨肋板纵桁装配焊接工位：配置分段运输台车和肋板焊接门架，门架上配有多台焊接设备将完成肋板的焊接工作。门架避免了大量的焊接线在工件上拖拉。

⑩分段顶升工位：配置分段顶升装置，该装置负责将来自分段运输台车上的分段顶升到足够高度，平板运输车到达分段的下方将分段转运。



图 21 平面分段生产线

（2）设备清单

表 8 平面分段流水线设备清单

| 序号 | 工位 | 设备 |
|----|--------|---------------------------|
| 1 | 预拼板工位 | 钢板输送装置 钢制平台及升降滚轮 |
| 2 | 正面焊接工位 | 移动式单面焊接装置 输送辊 支承辊 |
| 3 | 钢板翻身工位 | 180度钢板翻转机 反面焊缝气刨门架 |
| 4 | 反面焊接工位 | 移动式单面焊接装置 输送辊 支承辊 |
| 5 | 划线工位 | 数控划线切割机 升降滚轮 板片调整装置 |

| | | |
|----|-----------|--------------------------|
| 6 | 纵骨安装工位 | 纵骨安装机 支撑辊 |
| 7 | 纵骨焊接工位 | 纵骨焊接机 支撑辊 |
| 8 | 修补打磨工位 | 支撑辊 |
| 9 | 肋板、纵桁装配工位 | 井字平台 板片调整装置 肋板压入装置 |
| 10 | 肋板、纵桁焊接工位 | 肋板、纵桁焊接门架 |
| 11 | 顶升运出工位 | 分段运输台车 分段顶升装置 |

（3）实施案例

目前，省内骨干企业在该环节开展了大量的智能化产线建设（平面分片流水线 6 家、平面分段流水线 14 家）。相关实施案例可以为更多企业开展平面分段流水线建设提供参考。

■ 平面分段流水线案例

（1）产线参数

平面分段流水线用于船体平面片体的拼板、纵骨装配和自动焊接，流水线设置了预拼板工位、正面焊接工位、钢板翻身工位、反面焊接工位、划线工位、纵骨安装工位、纵骨焊接工位、修补打磨工位、肋板压入工位、肋板纵桁装配工位、肋板纵桁焊接工位、顶升运出工位等。该生产线适应最大板片规格 16.5m×22.5m，设计产能按来料为钢板宽度 3000mm、钢板数量 6 张、每个板片焊缝数量 5 条、钢板厚度 20mm、每个板片纵骨数量 18 根为例可满足 2 小时 1 片平面片体（16.5m×22.5m）的加工生产。

（2）设备投入

该项目总投入 6500 万元，购置钢制平台及升降辊轮、双弧双丝自动埋弧焊机、钢板翻转机、板片调整装置、纵骨安装门架、纵骨焊接机、焊接门架、分段顶升装置等。

（3）关键工艺过程

钢板预拼点焊工位配有一套钢板输送和钢制平台。在钢制平台上，配置钢板横向调整装置，满足钢板横向端部对齐的调节要求，配置钢板纵向调整装置，用于消除钢板拼缝之间的间隙。

钢板翻身工位配置钢板翻转机，将正面焊接完成的板片自动翻转，还配置了焊缝气刨门架，实现焊缝的自动气刨，在该门架上还配置自动打磨装置，用于气刨产生的割渣和氧化皮进行自动打磨。

纵骨安装工位配置纵骨安装机，由行车将纵骨吊至板列上，并预放到位，然后由纵骨安装机将纵骨纵向调整+旋转完成纵骨精确定位、手工定位焊接，完成纵骨的自动安装。

纵骨焊接工位配置纵骨焊接机，焊缝跟踪采用电子接触式传感自动跟踪，具备自动寻位功能，启动自动跟踪模式，焊枪自动移至焊接起始位置，还配置了焊烟净化系统，用于吸附焊接时产生的烟尘。

（4）产线效益

通过自动化设备和优化的工艺流程，大幅提高了平面分段的制造效率，满足大规模生产需求，推动船厂整体生产节奏的加快。借助智能机器人焊接、精确的控制系统以及关键核心工位的设备，能够保证平面分段的尺寸精度和焊接质量，减少人工操作导致的质量波动，为打造高质量的船舶产品奠定了基础。通过实现车间设计、工艺、制造、管理、监测、物流等环节的集成优化，实现智能管理与决策，可有效优化生产流程，减少材料浪费和人力成本。

场景 10-9：管加工智能产线

管加工作为船舶海工制造的核心环节，作业量大约占整个管

装作业的五分之三。管加工能力直接关系到项目的舾装进度和效率，对项目成本和周期具有决定性的影响。船舶海工产品的管件类型多、制作标准复杂、连接方式多样。管件按材料可分为碳钢和有色金属；管件的类型有直管、弯管、拼管和支管等；管附件类型有法兰、复板、套管等；管件根据尺寸分大、中、小管径。

传统的管加工车间多依赖手工作业，生产效率和水平不一。管加工智能产线是用于自动化加工各类管路的核心生产线，通过集成数字化技术、机器人技术和智能物流系统，实现管路从切割、焊接、装配到检测的全流程智能化生产。

（1）产线构成及工艺流程

根据管径大小的不同需求划分为多条产线（小径线、中径线、大径线），各产线配备相应的自动化设备和数字化系统，实现管材切割、坡口加工、弯管成型等工序的精准控制。

产线主要功能包括自动上料、自动喷码、自动切割、自动法兰装配、自动焊接、自动打磨、自动分拣、自动油漆房（VOC）、视觉配盘等。工位

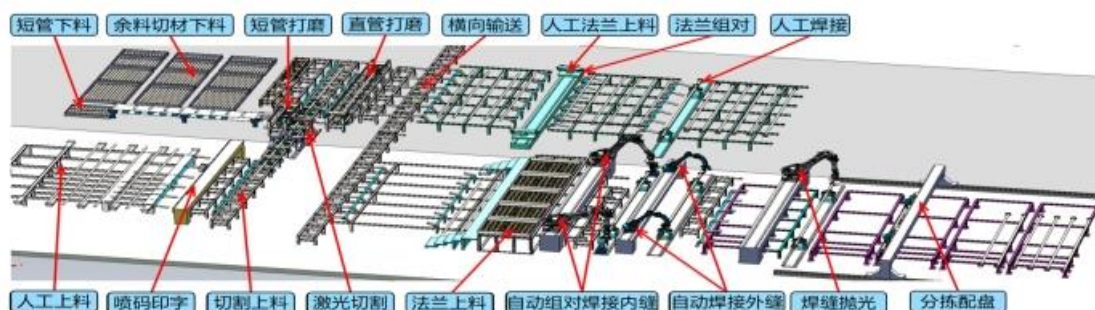


图 22 管加工智能产线

（2）设备清单

表 9 管加工智能产线设备清单

| 序号 | 工位 | 设备 |
|----|-----------|--|
| 1 | 直管流水线 | 多层管材上料架 测长喷码机 机械切断机 坡口机 机器人装配 机器人焊接 |
| 2 | 短管装焊 | 短管装焊系统 |
| 3 | 小组立装焊 | 小组立平台 卡盘焊接变位机 弯头焊接机 |
| 4 | 弯管 | 数控弯管机 |
| 5 | 大组装配 | 装配平板 |
| 6 | 大组焊接 | 卡盘焊接变位机 |
| 7 | 支管切断/弯头切割 | 支管切断机 弯头切割机 |
| 8 | 检测工位 | 试压泵 扫码枪 工装治具 探伤室 视觉识别配盘检测 |

（3）实施案例

管加工智能产线是船舶海工企业开展智能化建设的首选环

节。目前，省内骨干企业在该环节开展了大量的智能化产线和单元建设（短管智能制造单元 6 家、相贯线智能切割单元 10 家、相贯线智能焊接单元 4 家、弯管智能制造单元 7 家、合拢管智能制造单元 9 家、小径管智能生产线 6 家、中径管智能生产线 6 家、大径管智能生产线 5 家）。相关实施案例可以为更多企业开展管加工智能生产线建设提供参考。

■ 管加工智能产线案例

（1）产线参数

某企业管加工车间建设 6 条生产线，覆盖不同管径范围，包括小一线、小二线、中一线、中二线、大径线、不锈钢流水线。产线采用了先焊后弯、自动弯管、法兰自动装焊一体机、高级自动化排产、全自动物流等先进工艺技术，配置行业智能制造先进设备，满足大、中、小管径碳钢和不锈钢管加工工艺流程。

（2）设备投入

项目总投资 6000 万元，包括购买弯头焊接机、直管流水线、短管装焊系统、坡口机、支管切断机、辊道传输线、自动配盘设备、焊接机器人、视觉识别配盘检测等设备。

（3）关键工艺过程

1.先焊后弯：先焊后弯工艺把空间作业变为平面作业，降低施工难度与劳动强度，操作更安全，便于采用自动或半自动焊提升焊接质量。该工艺能实现管子无余量下料，减少二次切割和校管工作，缩短流程、节省材料、提高管材利用率。同时，避免交叉作业，减少加工误差和变形，提升管件质量。

2.法兰自动装焊一体：通过法兰装焊一体机的应用，实现了管件与法兰的自动焊接。显著提升了焊接作业的效率，并有效降低了焊接缺陷

的发生，确保了焊接质量的稳定性。该设备能够满足不同规格法兰的焊接要求，从而实现高品质的焊接效果。

3.自动弯管：设备自动执行检测程序，对管径、壁厚等关键参数进行精确测量，并根据预先设定的工艺数据对弯管模具及弯曲参数进行相应调整。该工艺显著提升了弯管作业的效率与精度，有效减少了人工操作的误差，确保了管件质量的稳定性。

（4）产线效益

相较于传统的手工管材加工流水线，新建的管材加工车间的年产量实现了显著提升，从 20 万根/年增长至 30 万根/年；原材料的配备率达到了 98%以上；管材的库存周期缩短 1 个月；单根管材的生产周期也从 40 天减少至 20 天。

场景 10-10：总组搭载场地

总组搭载过程的“智改数转网联”主要包括：使用高精度定位与装配辅助设备，依据三维模型数据精确引导模块吊装对接，提升组装效率和质量、减少返工；应用自动化测试设备系统自动完成多项性能测试并采集传输数据，增强测试效率与准确性；应用分段/模块组装与测试管理系统，规划分配组装任务、管理测试全流程，依模块和标准制定计划规范，监控评估数据并生成报告保障验收交付。

目前，省内船舶海工企业在总组搭载过程主要聚焦于单一智能化设备的改造应用，包括智能行车 6 家、全三维测量设备 13 家、分段柔性对接设备 7 家、搭载焊缝自动焊接设备 8 家、外板环缝涂装智能设备 1 家、外板涂装智能设备 4 家、合拢管测量智能设备 10 家、狭小空间焊接机器人 3 家；有 2 家建设了数字化

船坞，搭载效率和精度明显提升。在该环节，需要更多的企业开展智能化改造，提升企业智能制造水平。

■ 总组搭载场地智能化案例

（1）智能化设备应用

采用高精度定位与装配辅助设备，如激光定位仪、智能装配工装等。在模块组装过程中，这些设备可根据三维模型数据精确引导模块的吊装与对接，确保模块安装位置精度控制在毫米级，有效提高组装效率与质量，减少因组装误差导致的返工。

运用自动化测试设备与系统，如集成式测试台、智能传感器网络等。这些设备可自动完成对模块各项性能指标的测试，如压力测试、电气性能测试、密封性测试等，并实时采集与传输测试数据至数据分析中心，提高测试效率与数据准确性。

（2）数字化系统应用

对于海工产品而言，需要建立模块组装与测试管理系统，对组装任务进行规划、分配与进度跟踪管理，同时对测试流程、数据采集、分析与报告生成进行全流程管理。系统根据模块类型与测试标准制定详细的测试计划与检验规范，在测试过程中实时监控测试数据，利用数据分析算法对测试结果进行评估，及时生成测试报告，为模块验收提供依据。

开发模块性能评估与优化软件，基于大量历史测试数据与实际运行数据，运用数据分析与建模技术构建模块性能评估模型。通过对比实际测试数据与模型预测值，对模块性能进行量化评估，并提供优化建议，如调整装配工艺参数、改进设计结构等，提升模块整体性能与可靠性。

场景 10-11：码头作业场地

海工装备产品的系统调试在整个生产过程占据极其重要的地位。采用具有自动校准和故障诊断功能的智能测试设备，能自

动适配不同海工装备系统测试需求，高效精准完成性能测试与故障排查，效率与精度显著提升；运用远程监控与诊断技术，在关键设备安装传感器与通信模块，将运行数据实时传至远程监控中心，方便异地专家远程指导调试，减少因现场技术不足导致的延误；应用系统调试管理系统，实时采集存储测试数据并分析，生成规范报告，保证调试工作规范标准；开发性能评估与优化软件，基于大量历史和实际运行数据构建评估模型，调试时对比实际与预测值量化评估系统性能，给出调整参数、优化逻辑等建议，提升装备性能与可靠性，降低后期运维成本。

■ 码头作业场地智能化案例

（1）智能化设备应用

采用智能测试设备与仪器，如具备自动校准与故障诊断功能的电气测试系统、液压系统综合测试仪等，可自动识别不同类型的海工装备系统接口与测试需求，快速、准确地完成系统性能测试与故障排查工作，测试效率较传统方式大大提高，且测试精度更高。

运用远程监控与诊断技术，在系统调试过程中，通过在关键设备与系统上安装传感器与通信模块，将设备运行数据实时传输至远程监控中心。技术专家可在异地对调试过程进行远程指导与故障诊断，及时解决问题，减少因现场技术力量不足导致的调试延误，提高调试工作的协同性与效率。

（2）数字化系统应用

建立海工装备系统调试管理系统，涵盖调试计划制定、测试流程管理、数据记录与分析、调试报告生成等功能模块。根据系统调试标准规范，制定详细的调试步骤与检验标准，并在调试过程中实时采集、存储

测试数据，利用数据分析工具对调试结果进行评估与分析，生成规范的调试报告，为装备交付提供技术依据，确保调试工作的规范化与标准化。

开发海工装备系统性能评估与优化软件，基于大量历史调试数据与实际运行数据，运用数据分析与建模技术构建系统性能评估模型。在调试过程中，通过对比实际测试数据与模型预测值，对系统性能进行量化评估，并提供优化建议，如调整设备参数、优化系统控制逻辑等，提升海工装备整体性能与可靠性，降低后期运行维护成本。

场景 11：人机协同制造

随着智能机器人、智能产线的规模化应用，头部海工企业可以按步骤，循序渐进开展人机协同制造：

- 1) 实现简单、重复性任务协同，如物料搬运、简单装配等。
- 2) 实现复杂、个性化任务协同，如物料搬运、简单装配等。
- 3) 构建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，在复杂任务中实现高度协同。
- 4) 构建高度智能决策算法、自我修复和优化能力、全面安全防护系统等，实现自主完成任务。人的职责主要体现在系统设计、性能维护及技术更新等方面。

场景 12：工艺动态优化

在海工产品制造产线/车间，工艺动态优化是提升生产作业能力，最大化智能化设备/产线效率的关键。不同企业根据设备/产线的智能化程度开展工艺动态优化：

- 1) 多设备联合寻优等算法，找到最优的工艺参数组合，实现生产线的整体性能最优。

2)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，显著提高产品质量一致性。

3)实现智能产线和工艺在线优化系统的深度融合，具备自主学习和决策能力，实现智能化的参数调整和优化。

■ 焊接过程控制实施案例

（1）系统概述

焊接数字化管控系统的目的是满足焊接规程、焊缝、焊工权限等要素预设要求，具备联网、预设、管控、评估四大功能，实现人机物关联、违规警示、停机阻止、规程作业可追溯。逐步实现了从工艺开发、工艺设计到焊前准备、焊中管控、焊后管理的焊接全过程质量控制。

（2）系统构成

焊接管控系统由焊接管控系统软件、服务器、焊接数据采集仪及无线网络（或有线网络）组成。数据采集仪，用于通过与焊机进行数字通信来实现实时采集电压、电流、焊工姓名、焊缝编号，系统记录焊接过程的数据。焊接管控软件系统分为三个部分：焊接管控系统服务器软件、焊工 APP 软件、大屏显示软件。

| 序号 | 模块名称 | 功能描述 |
|----|--------|---|
| 1 | 焊接总体状况 | 显示车间焊机的总体工作情况：开机台数、待机台数、焊接台数、告警台数、离线台数。 |
| 2 | 焊机实时监控 | 查看所有焊机实时运行状态，实时电压、电流。 |
| 3 | 焊接实时曲线 | 监控某台焊机焊接时的实时曲线，及实时数据显示。 |
| 4 | 个人信息 | 焊工对个人信息进行查看并可以进行密码修改操作。 |

（3）实施效果

该焊接管控系统，已实现 2000 余台焊机的联网，对焊工焊接参数进行全过程管控，每秒钟采集一次电流、电压等参数，并实时预警和大数据分析，焊接变形明显减小，焊接燃弧时间提升 50%，焊接效率明显

改善，焊接质量进一步提升，成效显著。

通过焊接管控，杜绝了大电流焊接，实现了规范化作业；焊接变形明显减小，火工背烧工作大幅降低，结构内应力降低，确保建造质量；焊工任务与焊接参数相互关联，焊机自动下载焊接工艺参数，能够确保现场施工严格按照工艺规程实施，使得焊接内在质量可靠，外部成型美观；同时，有力促进了气保焊技术在高新工程的应用。

场景 13：在线质量检测

目前，江苏省的船舶海工企业尚没有建立质量在线智能检测机制和工具，需要头部企业借助先进制造行业相关技术应用经验，探索质量在线检测方法，提升质量和生产协同管控效率。按照下述步骤开展相关建设：

1) 实现质量数据的在线填报。

2) 应用数字化检验设备，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别。

3) 构建在线智能检测系统，实现关键工序质量在线检测和在线分析，自动对检验结果判断和报警，实现检测数据共享；同时建立产品质量问题知识库，提升质量检测效率和准确性。

4) 应用人工智能、大数据等新一代信息技术不断提升产品质量检测能力，实现产品质量数据采集规模化、完备化。

场景 14：设备运行监控

通过对老旧设备改造和新设备技术要求，实现设备参数实时采集、故障分析和远程诊断。

1) 实现关键设备基本数据（如温度、压力、转速等）采集，

数据管理和分析主要依靠人工或简单软件工具。

2) 基于信息化系统实时采集设备数据,开展设备运行数据分析,如数据可视化、历史数据查询与报表分析等。

3) 通过集成智能传感技术与先进机器学习/深度学习算法、综合性设备监控系统,实现设备数据全面采集与分析,实时监测当前状态及异常报警。

4) 精确预测设备运行状态,前瞻性地识别潜在故障或异常,有效确保设备持续稳定运行,提高设备运行效率。

■ 设备管理系统实施案例

某企业上线设备管理系统,投入 135 万元。

系统主要功能包括:

设备基本信息: 识别海工装备企业中的各类设备,包括设备基本信息、属性信息、分配信息、采购信息;

设备状态监控: 对设备运行的实时状态进行监控,传输实时状态;

设备点检巡检: 包括设备隐患巡查管理,定点定期进行设备检查;

设备保养维修: 对设备进行定期保养,对于故障设备进行报修和维修闭环控制。

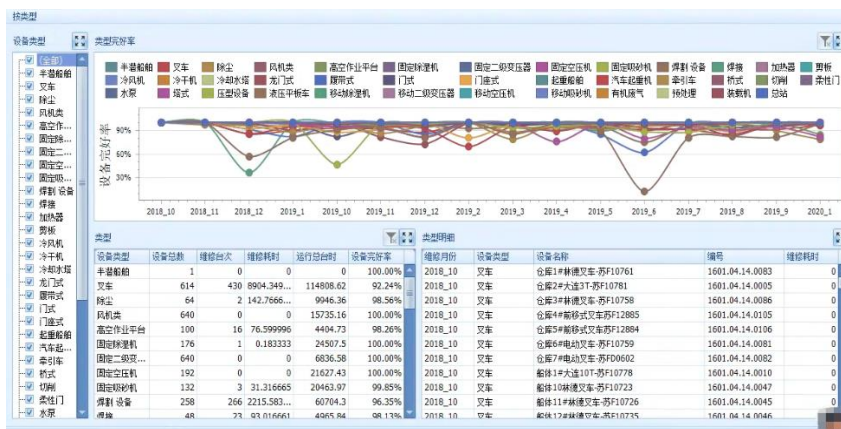


图 23 生产设备实时监控

实施成效：以设备台账为基础，实现设备点检、设备维修、设备保养、设备巡检的全流程管控，根据不同设备类型分别建立设备点检要求的清单，基于移动端进行设备的点检、报修、维修结果的反馈，并制定保养计划，跟踪保养情况，及时的收集及监督现场操作信息，同时结合供应链管理设备备品备件的采购、仓储及领用，规范生产设备管理流程，提升生产设备管理数据的时效性和真实性，实时呈现设备运行状态的数据信息；对于生产重点设备进行联网（如数控切割机、焊机等），动态传递设备的操作指令，以及监控设备的运行状态。

（四）生产管理环节

生产管理环节的“智改数转网联”实施主要包括：

（1）应用信息系统，对作业计划、产品质量、设备资产、生产物料等进行管理，实现关键生产过程精益化；

（2）通过对生产过程、仓储物流、设备运行、产品质量等进行数字化集成，实现高效计划排产和生产业务协同管控；

（3）通过生产全过程数据综合分析，实现生产计划与排程自动生成、设备全生命周期管理、质量精准追溯和持续改进、物流仓储策略优化、安全应急联动、能源环保综合管控；

（4）探索多目标、多扰动、多约束情况下的生产计划优化和智能排产调度，推动制造资源的全面优化利用。

1、存在的主要问题

整体而言，江苏省船舶海工企业在生产管理环节基本都开展了数字化技术和工具的应用探索，多数海工装备企业围绕计划管

理建立了完善的计划管理体系(占比超过70%),在质量管理(占比50%)、物流集配管理(占比50%)、设备管理(占比超过70%)、安全管理(占比70%)、能源管理(占比50%)等方面都开展了相关的数字化系统建设。但是,在前期设计、生产计划、采购与生产准备、场地与车辆等资源的业务协同方面仍然以传统的“调度会”方式为主,决策以经验和任务紧迫度为主要依据,缺乏全局性信息支持。

海工制造企业制定生产计划需要考虑场地、设备和人力等资源条件,这些资源因为属性不同以及项目占用情况不同,资源的动态信息(可分配关系与可替代性)需要及时更新和控制;还需要考虑不同项目之间以及设计、物流和生产之间的协调关系(物料、图纸与工序流程紧密联结),以及生产过程中存在的不确定因素(工程变更)。目前,多项目之间资源冲突、多级计划之间相脱节、计划和生产脱节等问题是制约生产效率的关键因素之一,计划的制定与管理缺乏有效的信息化/智能化手段支撑。

其次,车间作业管理过程精细化程度不足。海工制造过程具有高度离散的特点,虽然部分作业过程采用了流水线模式,但仍有大量的作业以人工为主,如何有效地开展作业管理是数字化转型的重要环节。海工作业管理包含作业派工、报工的管理,以及针对流程化作业的过程管理,需要根据不同流水线的设备构成、控制方式、生产节奏、工序衔接、物流运输等具体要求开展信息化、智能化手段升级,实现生产作业精细化管理。

在物资仓储方面，海工装备行业传统仓储管理方式依赖人工记录和纸质单据，导致库存信息更新不及时、不准确，盘点周期长且容易出错，库存准确率低，难以满足生产需求。仓储空间布局缺乏科学规划，未能充分考虑物资尺寸、重量、出入库频率等因素，造成仓储空间利用率低，同时增加了物资搬运和查找难度，延长了物资出入库时间，影响生产效率。

在物资集配方面，传统物资配送的计划与调度主要依赖于人工经验，这使得实现精确的物资配送和及时供应变得困难。因此，生产线常常面临因缺少材料而导致的停工问题，进而影响了生产建设的周期。此外，由于缺乏对物资运输过程的实时监控和有效管理，无法实时掌握物资的运输状态和位置信息。在运输延误或物资损坏等紧急情况下，难以迅速采取相应的应对措施，这无疑增加了生产的风险和成本。

在工程质量管理方面，涉及物资到货、工程检验、精度管理、质量巡查、质量奖惩、材料追溯、意见管理等方面，是决定海工产品质量和生产效率的关键。面对庞大的工程质量管理任务，目前大部分海工制造企业仍然依靠质检人员的经验判断，缺乏有效的在线智能检测工具和工程质量管理体系是当前海工装备企业工程质量管理面临的突出问题。

在安全生产管控方面，安全隐患错综交织，缺乏智慧管控手段，安全事故多样。目前，企业安全生产存在漏洞，监管困难。部分企业由于生产设施相对陈旧、建造工艺相对落后、人员素质

相对较低、管理规范化精细化程度相对不足，导致人员及车辆动态管控困难、重大事故风险预警识别困难、危险源的实时监控手段缺失、安全事故溯源追责与安全知识积累困难。多重问题叠加，安全生产管理负担沉重，亟需先进技术手段破解困局。

在能源管理方面，海工制造过程中需要应用大量的设备设施，同步消耗大量的电、汽、燃油等能源，属于典型的大能耗过程，在实际能耗管理过程中，因为缺乏相应的数字化监测和管控手段，能耗管理精细化程度不足，粗放式能耗管理方式导致严重的能源浪费现象，大大增加了企业的生产成本，节能降耗是当前海工制造企业面临的迫切需求之一。

在环保管控方面，目前江苏省大部分骨干企业都建立了环保管控的机制和办法。但是，数智化手段基本没有，特别是实时的环保监测能力不足，需要加强数字化环保管控系统应用，强化厂区的环保管控。

2、典型场景

场景 15：生产计划优化

在企业资源管理基础上，对各类资源的实时状态进行统一管理，构建海工装备企业生产计划系统，对企业大中小日程计划进行管理，解决造船计划管理粗放、多级计划之间相互脱节、计划和生产相脱节的问题。企业需要根据自身基础开展场景改造：

1) 尚无计划系统的企业，需要基于信息系统实现生产计划

自动编制，可基于规则自动调整，减少人工干预，提高响应速度。

2) 初步建立和实施生产计划系统的企业，需要考虑多因子约束条件自动生成生产计划，并实现生产计划动态调整，平衡供需，提升资源利用率和准时交货率。

3) 生产计划数字化水平较高企业，需要应用优化算法，实现多目标，多方案生产计划，平衡效率与成本，提高资源利用率。

4) 技术应用水平高、技术成熟的头部企业，需要引入 AI 智能预测与决策，持续优化生产计划，自适应复杂环境，实现跨系统、跨工厂的生产计划协同优化，全局视角资源配置。

■ 生产计划系统案例

某企业实施生产计划系统，初期投入 350 万元，二期投入 180 万元，搭建了多级计划体系，实现计划数据的上传下达，有效指导生产。通过建立生产计划管理体系，上线应用生产计划管理系统，实现面向多约束平衡的生产计划管理。系统覆盖船厂的大日程及中日程计划，其中：大日程包含主要节点计划（线表计划）以及项目综合日程计划；中日程计划包含搭载计划、先行及后行中日程计划。计划管理以工程分解标准体系为基础，以生产资源、目标工期及现场进度为约束自动生成生产计划，实现“工序合理、负荷平衡、中间产品完整”；根据现场进度，实现生产计划动态调整，平衡供需，提升资源利用率和准时交货率。

计划系统功能主要包括：

线表计划：以规划项目和生效项目为基准制定经营线表，以生效项目为基准制定生产线表，对各项目的大节点进行计划排程；根据项目主要工序的物量，分析线表计划的负荷，平衡海工装备企业的总体产能；

项目综合日程计划：结合线表计划确定的节点，根据项目自身特点

对项目的重点任务事项进行分解并排程，作为单项目行动指南，便于项目从大日程层面跟踪检查项目主要事项的进度；

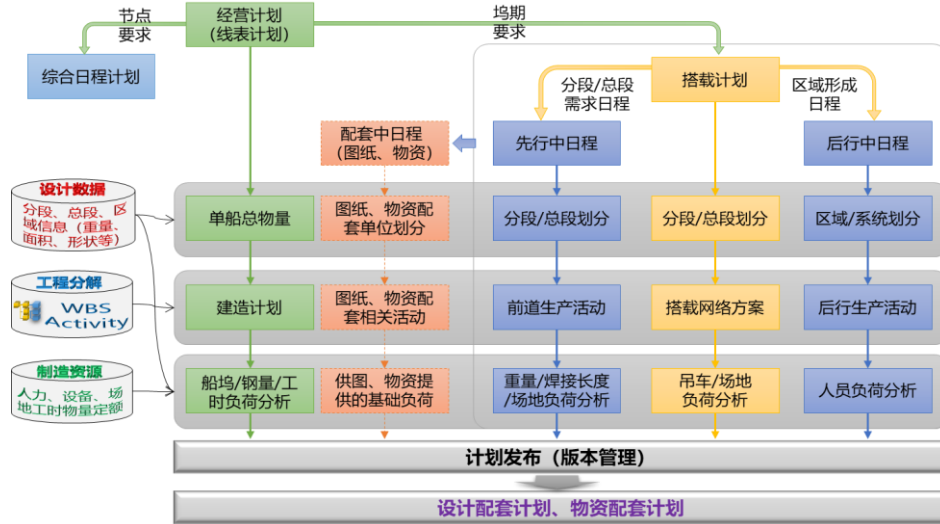


图 24 制造过程多级计划管理

搭载计划：根据项目坞期安排、吊装顺序、吊装依赖关系、吊装工艺间隔、关键设备进舱等信息，构建项目搭载网络图，对搭载计划进行排程，确定搭载段的吊装、焊前、焊后以及相关舱室作业计划，平衡吊装负荷以及相关作业的负荷；

先行中日程：以搭载计划为基础，以船体中间产品为导向，以分段、总段为单位，对从加工到搭载过程的主要工序进行计划排程，平衡先行阶段各施工区域的资源、物量（工时）负荷；为设计供图、物资准备、场地定置管理、生产部门作业等提供计划依据；

后行中日程：以搭载计划以及后行主要节点为基础，以舾装为核心，对各区域的安装、涂装作业，以及系统（设备）调试效用作业的计划进行排程；通过后行作业约束关系的定义，达到空间分道、时间有序连续均衡作业；

配套中日程：围绕着搭载、先行、后行中日程这条生产主线，对各类舾装件制作、设计供图、物资采购及到货进行计划排程，确保生产按照既定的节奏顺利进行；

工时定额管理：以 W.O.P 为核心，建立企业编码标准，基于 BOM 构建各类作业的工时物量定额体系，针对众多的建造工序，分别对应不同类别的 BOM，提取定额计算所需的物量，并定义定额工时的计算逻辑，同时考虑定额工时计算的灵活性与可配置性，以响应海工装备企业工艺进步、组织改善带来的工序及定额管理变化；

计划反馈：结合生产作业管理，以派工单的执行进度为准，逐层向上层计划反馈。

场景 16：车间智能排产

车间智能排产需要结合制造执行系统（MES），与生产线集成应用，实现资源和生产负荷平衡情况下的智能排产。基于制造工艺 BOM，结合各个生产线的构成和工艺流程，分配各类目标中间产品制造资源，平衡工位的能力负荷，分解和下发满足生产条件的工位工单，并跟踪具体执行情况，同时处理设计和工程变更带来的影响，实时跟踪生产线进度。

不同基础条件的企业，需要根据生产线的设备构成、控制方式、生产节奏、工序衔接、物流运输等具体的要求，按照如下步骤开展场景改造：

- 1) 引入复杂的算法，能够处理多工序、多资源的排产调度。
- 2) 能够进行实时的调整和优化，能够预测潜在的生产瓶颈，自动调整生产计划以避免延迟。
- 3) 具备高度的自适应性和学习能力，能够通过机器学习算法不断优化排产策略和调度能力，以适应不断变化的生产需求。

■ 管子 MES 系统案例

（1）系统概述

项目总投资投入 260 万元，系统涵盖计划管理、工艺管理、生产调度、

报表管理等多个模块。通过计划管理模块，根据船厂主生产计划制定详细的管子生产计划；工艺管理模块提供准确的工艺指导；生产调度模块优化资源分配，保障生产顺畅；报表管理模块则为决策提供数据支持。

（2）系统功能

产线/车间MES系统通常由以下几个主要部分构成：

1.计划管理：接收来自船厂主生产计划的生产任务，根据订单需求、交货期以及资源状况等，制定详细的生产计划，包括生产顺序、批次安排等，确保生产有序进行。

2.工艺管理：存储和管理生产工艺信息，如管子的弯曲半径、焊接工艺、切割尺寸等标准工艺参数；同时，支持工艺文件的生成、修改和查询，为生产操作提供准确的工艺指导。

3.生产调度：根据生产计划和实际生产进度，实时调整和优化生产资源的分配，如设备、人力等；协调各生产环节之间的衔接，解决生产突发问题，确保生产连续性和高效性。

4.数据采集与监控：通过传感器、扫码枪等设备采集生产现场的实时数据，包括生产进度、设备状态、人员操作等信息。以可视化的方式展示生产过程的动态信息，便于管理人员及时掌握生产情况，做出决策。

5.报表管理模块：根据系统采集和存储的数据，生成各种统计报表，如生产日报、月报、质量报表、物料消耗报表等。为企业的生产管理、成本核算、决策分析等提供数据支持。

（3）系统效益

通过系统的计划管理和生产调度模块，能根据订单需求和资源状况制定精准的生产计划，合理安排生产任务和设备资源，减少生产过程中的等待时间和资源闲置，实现生产流程的优化和高效运行。通过系统对生产数据的分析，管理人员能清楚了解各类资源的使用情况，从而优化资源配置，提高资源利用率，降低企业运营成本，提升企业的整体效益和竞争力。

场景 17：生产作业管理

在船厂复杂的生产体系中，生产作业管控的优劣直接关乎整体建造进程。传统产线/车间管理方式主要通过人工和表单进行，易导致信息滞后、沟通不畅，各环节难以协同。生产作业管理是进一步发挥智能化效能的关键。企业根据自身生产组织情况按照下述步骤实施生产作业的数智化管理：

1) 将精益管理理念与数智技术结合，通过信息系统收集和分析生产数据，以支持决策制定；

2) 建立较为完善的数据采集与管理系统，实时收集、分析和监控生产数据；

3) 引入 AI 技术，以实现对生产过程的智能监控和优化；

4) 对生产数据进行深度挖掘和分析，实现预测性维护和智能化生产；产品质量和交付周期得到显著优化，客户满意度大幅提升；精益管理方法与数智技术深度融合，形成一套完整的数智精益管理体系。

■ 生产作业管理系统案例

车间作业管理系统主要功能包括：

生产能力负荷管理：基于制造工艺 BOM，结合各个生产线的构成和工艺流程，分配各类目标中间产品制造资源，平衡工位的能力负荷，分解工位工单；

车间作业计划：为达成中日程计划的要求，各车间以 W.O.P（任务包/派工单）为基础对作业计划进行排程，平衡产线及工位资源，并下发班组执行；

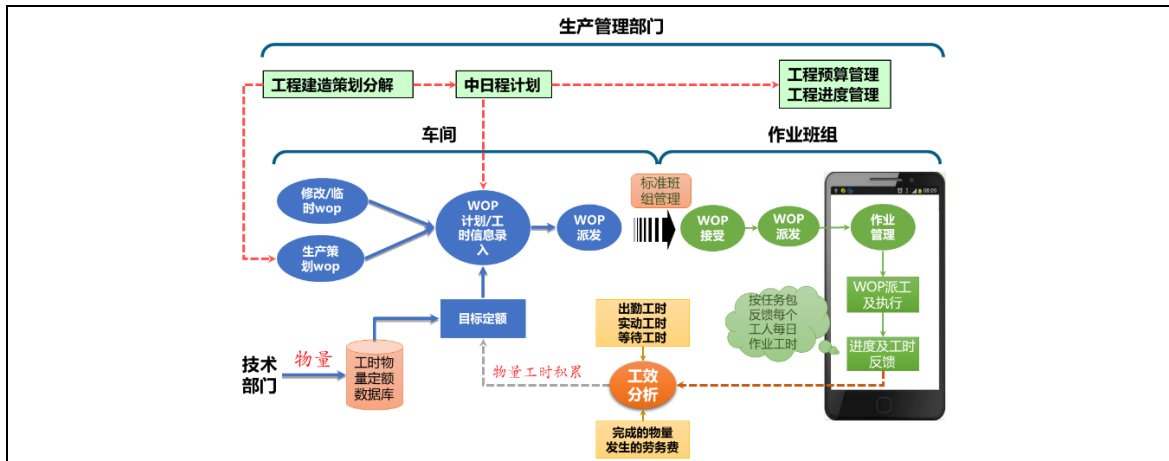


图 25 作业派工管理

生产作业派工管理：结合 W.O.P 的目标工时和定额工时，车间制定作业计划，基于工单进行生产齐套检查（材料、图纸），并依据作业计划将任务包发放到班组；

生产作业执行与反馈管理：班组根据生产实际情况进行每日的派工和报工，同时建立基于 W.O.P 的作业工时进度反馈体系，并逐级向上反馈；

作业过程仿真：开发基于数字孪生的作业过程仿真模块，为计划编制提供时空可行性的辅助决策；

生产绩效管理：以工时为基准进行工效的统计分析，生成相应的生产绩效；

车间看板管理：对于部分流水线，可以集成产线设备，传输生产作业指令，驱动产线自动运行，实时跟踪产线进度；对于不同基础条件的企业，需要根据流水线的设备构成、控制方式、生产节奏、工序衔接、物流运输等具体的要求，制定产线集成的顶层规划与集成的技术标准，以满足系统的高效运行。

决策支持管理：面向组立制作车间、管加工车间等各类内场作业车间，追溯各类中间产品生产过程中的各类数据，包括原材料数据，以及切割、加工、装配焊接过程中的图纸、计划、工单、班组、人员、工时、进度、质量、意见/问题、安全等数据，动态分析，以支持过程决策。

场景 18：仓储智能管理

建设智能化立体仓库，借助自动化货架、堆垛机和穿梭车实现物资自动存储检索，经仓储管理系统与设备控制系统集成，使物资搬运精准高效，提升出入库效率并降低人力成本；同时采用射频识别技术为物资贴附标签，以实现库存实时更新和精确管理。

构建仓储管理系统，并与企业采购、生产、销售系统集成，达成信息共享与业务协同，依据生产计划和订单自动生成出入库及补货计划，优化仓储流程、缩短供应周期；同时利用大数据分析仓储历史数据，为仓储规划、物资存储分类及采购计划提供数据依据，增强管理科学性与决策准确性。

■ 智能仓储管理系统案例

（1）智能化设备应用

建设智能化立体仓库，采用自动化货架、堆垛机、穿梭车等设备，实现物资的自动存储和检索。通过仓储管理系统（WMS）与设备控制系统集成，根据物资编码和存储位置信息，堆垛机和穿梭车能够快速准确地将物资搬运至指定货位或取出，提高物资出入库效率，降低人力成本。

应用射频识别（RFID）技术，为每件物资粘贴 RFID 标签，在物资出入库和在库移动过程中，通过 RFID 读写器自动采集物资信息，实现库存数据的实时更新和精准管理，库存准确率可提升至 98% 以上。

（2）数字化系统应用

部署先进的仓储管理系统（WMS），涵盖入库管理、出库管理、库存盘点、库存预警、货位管理等功能模块。WMS 系统与企业的采购、生产、销售等系统集成，实现信息共享和业务协同，根据生产计划和订单需求，自动生成物资出入库任务和补货计划。

利用大数据分析技术对仓储历史数据进行挖掘和分析，包括物资出入库频率、库存周转率、季节性需求变化等，为仓储空间规划、物资分类存储和采购计划制定提供数据支持，提高仓储管理的决策准确性。

场景 19：物料精准配送

利用智能物流配送设备实现工厂内或短距物资自动配送，同时配备监测设备用 GPS 等采集运输信息传至监控中心，达成运输可视化；构建集成多模块物资集配管理系统，依据生产与库存分析确定最优方案，安排运输配送提高准时率减少延误；同时应用物联网和大数据构建运输数据分析平台，实时分析挖掘数据预测风险并制定预案。

■ 物资集配优化案例

（1）智能化设备应用

采用智能物流配送设备，如自动导引车（AGV）、无人机等，在工厂内部或短距离运输中实现物资的自动配送。AGV 可根据预设路径和任务指令，将物资从仓库准确运输至生产车间指定工位，提高配送效率和准确性；无人机可在特殊场景下快速运输紧急物资，缩短物资供应时间。

配备物资运输状态监测设备，如 GPS 定位器、传感器等，对物资运输车辆进行实时跟踪和状态监测，采集运输过程中的位置、速度、温度、湿度等信息，并通过无线通信技术将数据传输至监控中心，实现物资运输全过程可视化管理。

（2）数字化系统应用

构建物资集配管理系统，集成物资需求计划、采购订单管理、运输调度、库存管理等功能模块，通过对生产计划和物资库存的分析，制定最优的物资集配方案，合理安排运输路线和配送时间，提高物资配送准

时率，减少生产延误。物流集配管理系统主要功能包括：

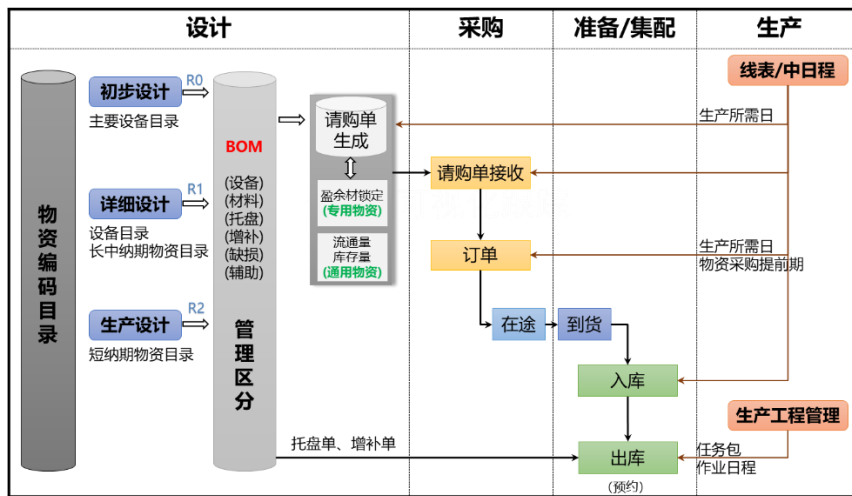


图 26 基于 BOM 的物资出入库管理

托盘管理：以托盘 BOM 清单为基准，结合条码管理托盘配送实际进度、完整性情况，跟踪托盘中缺件的物资，现场作业部门参照托盘 BOM 清单，签收配送的托盘物资；

仓储管理：采用智能化立体仓库管理重要配件物资，实现物资的入库、出库、查询、盘点等功能，以及托盘编码与物资一对一管理；

实物管理：实时监控钢材的入库、转移、出库以及切割流程，确保物资账目在任何时刻均保持精确一致。

场景 20：质量追溯与分析改进

质量追溯与分析改进需要依托质量管理系统的的应用，结合大数据分析技术，实现质量可追溯和分析改进：

1) 建立质量管理体系 (QMS)，依托该系统，实现产品质量数据的实时采集与存储，并支持质量问题的全面记录与跟踪，确保问题可追溯，有效提升产品质量管理效率与准确性。

2) 实时采集产品原料、生产过程、客户使用的质量信息，

实现产品质量的精准追溯；引入质量机理分析技术，深入探究质量问题的根本原因，形成结构化质量知识库，并通过数据分析和知识库的运用，进行产品缺陷分析，提出改善方案。

3) 采集产品原料、设计、生产、使用等全流程质量数据，实现全生命周期质量精准追溯。整合质量数据，构建 AI 模型，支持产品设计、生产工艺和质量控制策略的智能优化。

■ 工程质量管理体系案例

某企业实施全面质量管理体系，初期投入 300 万元，构建工程质量管理体系，主要功能包括：

常规工程检验：基于海工检验 ITP 项目分解，管理各检查项的检验过程（自检/互检、内检、外检），采用移动端反馈结果，结合质量报表分析各类质量指标，输出质量报告；

无损探伤 (NDT)：基于海工检验 NDT 项目分解，管理各检查项的检验过程，包括 UT/RT/PT/MT/PAUT 等各种无损探伤方式，记录检验过程中的仪器及检验结果相关参数，输出无损探伤报告，并关联焊工及焊接管理过程，对于重要焊缝实行实名制管理，记录使用的焊材，实现焊接的全过程追溯；

物资到货检验：对采购到货的设备及材料进行检查，对部分重要的外购设备及材料需要在出厂前进行 FAT 检查，记录检查的结果，跟踪处理相关问题；

质量人员管理：登记质检与管理人员信息，管理相关人员的考试及持有证书（资质）；

计量器具管理：对质量检查过程需要的相关计量器具进行管理，包括台账的维护、计量器具的校准、计量器具的证书等；

船用设备保养：对采购到货的船用设备进行定期的保养，根据设备

类型制定保养的计划和保养的要求，跟踪记录保养的执行情况；

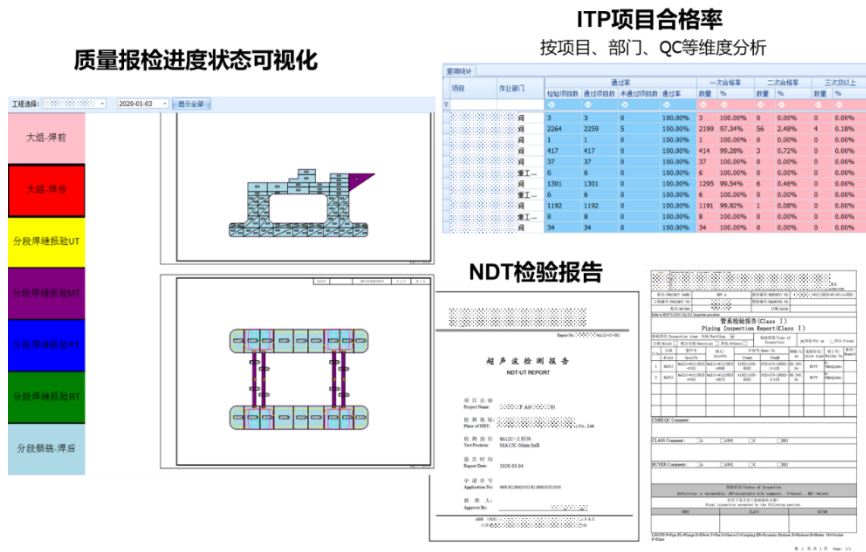


图 27 工程质量管理

精度管理：加强造船精度管理，建立完整的精度管理体系和运行机制，夯实生产和管理过程中各类建造标准与管理标准的建设和执行，通过系统运行，实现中间产品加工、焊接、装配过程的精度进行控制和管理；

质量巡查/举报：海工装备企业各车间生产管理人员按规划进行质量巡查，对于巡查过程中的质量违章问题进行记录；同时，海工装备企业所有人员均可对生产过程中发现的质量问题进行举报；巡查或举报的质量问题进入问题意见处理流程，并跟踪问题的关闭；

质量奖惩：结合质量巡检以及定期的质量检验结果数据分析，对于生产过程中发现的质量违章问题以及质量较差的车间（班组或个人）进行处罚，对于生产质量较好的车间（班组或个人）进行奖励；

材料追溯管理：对海工建造过程原材料（如钢板、型材、管材、阀门、管附件等）进行信息跟踪，包括所属中间产品信息、炉批号、质量证明书编号、其他证书信息等；

检验意见管理：管理船东、船检、各部门等在检验过程中产生的各类意见，包括意见的记录、分配、处理、跟踪、关闭等环节。

场景 21：安全一体化管控

- 1) 建立安全生产制度,并通过信息化手段进行管理和报警;
- 2) 建立生产安全管控系统,集成安全培训、风险管理等知识库,实现安全数据统一管理,自动识别潜在安全风险并发出预警,提高安全防护水平;
- 3) 应用生产运行风险动态监控、非法入侵、安全预警等技术,实现危险源的动态识别、评审和治理;
- 4) 搭建应急处置系统,实现安全风险的实时监控和预警,自动触发应急响应措施,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。

■ 安全生产管理系统案例

构建以人为本的海工制造企业安全生产管理系统,以海工装备企业电子地图为基础,将风险管理、隐患排查治理、人员车辆定位、重大危险源监测、安全教育与应急演练、危险作业许可、放行管理、违约处理、消防、安监等业务进行统一管理,为海工制造企业安全管理提供统一指挥、规范管理的手段。系统主要功能包括:

安全生产目标管理:针对海工制造过程,制定具体业务环节的安全生产目标,按照具体目标执行相关安全生产管理;

组织结构与职责:明确安全生产管理的组织机构,以及具体的职责;

安全生产投入:企业根据有关规定制定安全生产投入和费用计划;

法律法规和安全管理:收集罗列海工安全生产相关的法律法规和安全管理,在安全生产管理过程进行对标;

安全教育培训:构建基于 APP 查询的安全资料库,提升安全教育的效率,落实科学闭环的安全学习及考核流程,区分不同身份的员工并

制定个性化安全教育；实现以人为本的安全文化建设；基于虚拟现实（VR）技术，提供实际事故场景的沉浸式体验，让施工人员对事故体会更加深刻、直观，进一步增强作业人员对可能发生事故的认知和感受。

生产设施设备：基于工业互联网标识解析体系，借助二维码，RFID技术实现生产设施全生命周期的管理，对生产设施的备件、维保、巡检、远程监控、预测性维护等进行全方位的管理；

作业安全：在风险识别基础上进行作业分级管控，主要实现人员及车辆的作业过程定位和放行管理；

风险辨识与分级管控：识别海工装备企业中的各类危险源，对可能造成人员伤害，财产损失或环境破坏的情况进行梳理，判断相关危险源的触发条件，并评价操作人员在具有潜在危险性环境中作业时的危险性和危害性，形成“企业风险数据库”；

3D 电子地图：对厂区地图进行网格划分，动态展示分段的摆放位置、分段转运等，可视化管理分段的状态；



图 28 某企业 3D 电子地图

车辆定位：对厂区内的车辆进行定位监控，尤其是厂内运输作业车辆，查看各车辆的位置及轨迹；对超速进行警告提醒，避免车辆超速引

发的安全隐患；定义车辆电子围栏，对车辆越权进入某区域自动进行警告提醒；

放行管理：针对外来人员/车辆进行登记放行管理，对于携带的物资明细及危险情况进行登记说明；对于需要登船作业的人员设立闸口进行人脸识别，管理船上实时作业人数；

人员定位：应用智能终端（安全帽、手环等）进行人员定位，基于定位实时监管生产作业人员的分布情况；

隐患排查治理：包括隐患全员举报以及区域巡查管理，所有人员在厂区内发现隐患问题，都可以在 APP 上报隐患，进入隐患处理流程，反馈处理结果；对于区域巡检，追溯巡检人员在巡检过程中是否到位、合规，对于巡检过程进行统计和考核；

重大危险源监控管理：基于物联网技术实现可燃气体监测、消防管网压力监测、环保 VOCs 监测、视频监控等应用场景设备的分类别组网集中管理；实时监测各应用场景的设备数据，并基于监测数据阈值指标预警；

职业健康管理：包括危险作业许可，针对危险作业需要经登记批准后方可施工的要求，结合海工装备企业生产作业任务包，串联作业工种和作业人员，实现作业许可的签发，完成危险作业的从事前申请到事中监控到事后追溯全过程管理；

应急救援管理：主要包括应急演练和事故救援功能。管理安全应急预案的编制、审核、发布、变更、修订流程，以及基于真实的全厂电子地图的演练监控与分析，同时对应急救援设施、装备、物资等资源的台账管理、定期检查、维护和保养进行提醒和记录；为应急演练预案修订、演练评估、演练培训提供数据支持。针对事故救援需求，为人员配备一键呼救终端，提供人员串岗、滞留、长时间静止告警，对于作业超时，许可证过期、规定时间未作业、交叉作业、区域缺员/超员、安全员脱岗、非作业人员越界等危险情况进行及时的预警。

事故报告分析：针对已经发生的安全生产事故，开展原因分析，主要从人为因素、设备因素和环境因素三方面开展分析；

绩效评定：建立海工装备行业人员安全生产档案，通过安全综合评价指标量化模型，定量地评价海工制造企业人员的安全生产能力；建立企业综合评价指标体系，实现对企业安全态势和安全隐患的预警分析。

场景 22：能源智能管控

- 1) 建立能耗管控系统，实现能耗数据统一管理和初步分析；
- 2) 对能源输送、存储、转化、使用等各环节进行全面监控，进行能源使用和生产活动匹配，并实现能源调度；
- 3) 建立能源管理平台，应用能源平衡调度技术，实现能源数据与其他系统数据共享，为业务管理系统和决策支持系统提供能源数据；
- 4) 建立节能模型，实现能流的精细化和可视化管理。

■ 能源管理系统案例

上线面向车间生产的能源管理系统，涵盖能源数据统计、能耗精准计算、能效评价、能耗可视化等功能，实现对生产车间的大量设备能耗的实时监测和异常能耗设备的报警与异常诊断。系统主要功能包括：

能源数据统计：针对具体车间进行相应的能源分类和统计，通过物联网建设，统计车间设备的具体能耗，车间总能耗，监测实时的可用能源量；

能耗精准计算：针对能源统计信息，计算能耗指数，对比能耗指标进行能源/能耗的预报警；

能耗可视化：对生产车间的大量设备能耗的实时监测，实现能源可用量和能耗数据的可视化；

能效评价：针对设备的周期性能耗和生产指标统计，进行整体能效

评价，生成相应的整改建议。



图 29 车间能耗采集

场景 23：污染在线管控

按照企业数字化水平，按照下述步骤开展污染在线管控场景改造：

1) 通过信息技术手段实现环保管理，对污染重点排放部位进行识别并定期开展监测；

2) 通过信息系统实现环保管理，污染数据可自动采集并记录。实现从清洁生产到末端治理的全过程污染数据的采集，实时监控及报警，并开展可视化分析；

3) 实现污染监测数据和生产作业数据的集成应用，建立数据分析模型，开展排放分析及预测预警。

（五）运营管理环节

运营管理环节的“智改数转网联”实施主要包括：

（1）应用信息系统，对采购、销售、库存、财务和人力资源等进行管理，实现经营数据精准核算和绩效指标量化评估；

（2）通过经营管理与生产作业等业务的数据集成贯通，应用智能化管理工具，实现成本有效管控、订单及时交付、绩效指标动态评估等，开展供应链数字化管理；

（3）通过多维数据智能分析，实现全厂资源协同优化、设计生产服务闭环优化、智能化决策支持等，推进供应链上下游“链式”协同；

（4）推进工厂横向、纵向、端到端集成，构建智慧供应链，推动生产方式、服务体系和组织架构等变革，探索未来制造模式。

1、存在的主要问题

海工产品结构复杂、中间产品种类多样、非标件数量多，制造环节和工艺流程复杂，总装建造企业需要协同供应链上下游配套企业共同完成产品建造。而海工配套企业众多，且与总装企业存在利益分配冲突、私有信息保密、地理分布等因素，导致资源冲突、时间重叠和信息不对称的情况时有发生，根本原因是协作企业一般采用异构系统，信息共享和传递缺乏准确度和时效性，供应链管理信息化水平不足。

客户关系管理沟通手段不足。海工制造企业客户关系管理主要面向船东进行造船过程的意见和信息交互。目前，客户关系管理多以邮件的方式进行意见反馈和答复，无法准确全面掌握客户

意见信息。同时，因为缺乏更为有效的沟通手段，对客户意见的响应也缺乏时效性，导致企业客户关系管理的成效不佳，亟需借助网络化协同技术实现客户意见管理。

2、典型场景

场景 24：供应链协同

结合物资标识解析体系，从物资重要性/复杂程度和价值等维度制定供应链管理策略，对接计划流程管理物资的采购纳期，从物资全生命周期管理的角度建立包括采购需求编制、分析汇总采购订单、物资采购审批、入库检验、发放和付款的全流程物资采购体系，跟踪采购到货及时性；并与成本、财务管理相结合，实现物资管理的业财一体化；同时在采购体系中实现与供应商的联动，建立供应商准入、评价和分级管理的体系。

■ 物资采购管理系统案例

某企业上线的物资管理系统，投入 150 万元。通过构建唯一标识码，和“买用对比”机制，实现物资从设计、采购、取用的精细化管理，主要功能包括：

1) 建立物资编码库以及合格供应商清单，根据设计采购物量提报采购需求，分专业维护采购需求单及需求明细，包括物资编码、产品层次、材质、规格、型号、数量等信息；

2) 采购部门根据需求清单进行采购订单管理，跟踪订单发货及到货情况，仓库根据到货规划库位根据物资入库信息打印物资标识卡，并进行物资的入库上架；

3) 对库存进行日常的维护、调配和盘点，通过填写实际盘点数量

完成库存数据的盘点维护；

4) 通过建立转储单，完成物资物料编码、项目号、数量、单位等信息的变更。

场景 25：供应商数智化管理

目前，江苏省船舶海工装备企业普遍缺乏供应商数智化管理手段，对供应商管理重视程度不足。在“智改数转网联”实施过程中，需要补足这一短板：

1) 建立合格供应商管理机制，通过信息技术手段，实现供应商的溯源、评价和确认；

2) 建立供应商管理系统，通过系统开展供应商管理，对供货质量、技术、响应、交付、成本等要素进行量化评价；

3) 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，开展评价、分级分类、寻源和优选；

4) 建立供应商评价模型，实现供应商评价优化。

场景 26：主动客户服务

客户关系管理系统解决企业与船东之间的意见和信息交互问题，系统功能主要包含对潜在客户资料、订单协同决策、客户意见统计和关闭以及售后服务管理。通过系统应用提高意见交互的时效性和客户的满意度，从而全面提升企业客户关系管理能力。

■ 客户关系管理系统案例

海工装备企业客户关系管理系统主要功能包括：

基础信息管理：包含船级社资料库、海工公司资料库、海工联系人资料库、海工档案资料库、海工图片资料库、经营人员资料库等；

订单决策管理：在合同谈判过程中，针对客户咨询和意见进行及时沟通和反馈，为合同谈判提供决策支持；

客户意见分类管理：针对立项项目，及时接收客户针对海工设计建造的相关意见，并进行分类管理；

客户意见处理反馈：针对具体类别的客户意见，通过建立处理机制，自动触发通知，由专人进行意见处理和关闭；

客户意见处理评价：针对意见处理结果开展意见处理评价，通过多方综合评价机制，实现客观合理的意见处理评价，并为其它意见处理提供决策支持。

五、路径与方法

（一）总体实施步骤

企业根据现有技术情况和实际需求，有步骤地推动智能化改造数字化转型工作：

（1）开展适应船厂特点的智能装备上线应用，改变生产作业方式，提高制造效率，在“机器换人”的基础上进一步推动企业生产条件的智能化改造；

（2）加快企业信息化“补课”，构建以工程分解为基础，计划管理为指挥，统筹设计、物资、生产、质量、成本管理的系统性数字化解决方案；

（3）通过工业互联网建设和信息系统的集成应用，帮助企业积累运营管理的大数据，构建数字化船厂，实现数据支撑管理决策，真正提升船舶行业整体的核心竞争力。

1、“一企一策”精准实施

聚焦海工装备行业智能化改造数字化转型网络化联接实际需求，加快推进工艺技术、智能装备、工业软件创新和应用；以中间产品智能制造为突破口，加快建设一批智能化单元、智能化生产线和智能车间。

坚持结果为导向、分阶段推进实施智能化改造数字化转型网络化联接工作，不同企业根据自身发展阶段按照下述实施路径开展建设，如图 30 所示。

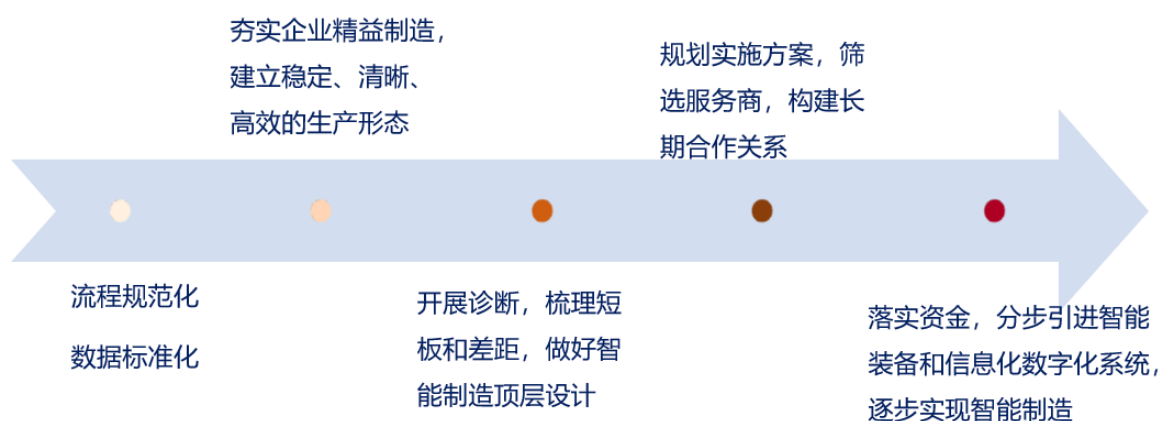


图 30 海工装备行业“智改数转网联”总体实施路径

2、多措并举

(1) 做好总体规划

开展总体规划的前提是理清企业海工装备建造的业务流程、工艺流程、运营管理等现状，梳理企业现有数字化、信息化、技术、设备等资源情况，了解各环节实际需求，明确企业核心需求和转型方向。

对于大型企业，依托自身优势，统筹产业链上下游；对于中小型企业，依托外部资源，借助外部力量，打通各环节数据流，做好适合企业自身的顶层规划设计，制定出总体系统架构和实施路径，从总体上规范化海工装备制造流程、标准化制造数据，打通各环节数据，推进信息系统互通互联，有效地运用各类信息技术和资源，控制海工装备建造节奏，优化物资采购配送，减少能源消耗，降低项目建造工时和成本。图 31 为某船企总体规划。

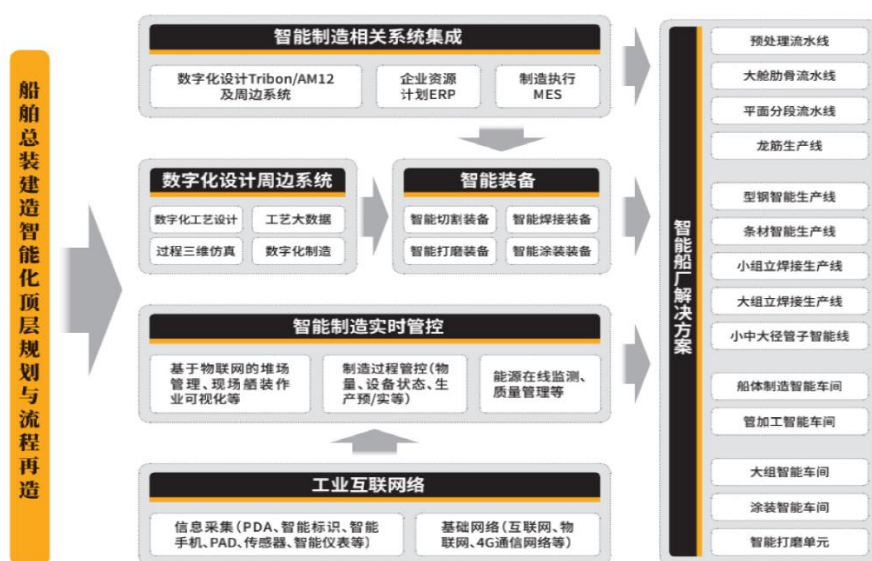


图 31 某厂总装建造智改数转顶层规划与流程再造

（2）推动技术改造

在分析企业现有技术、工艺、材料及装备的基础上，对现有设备、工艺条件、传统技术等进行升级改造。

①在工厂建设环节，构建船厂信息通信网络，实现作业区网络全覆盖，构建信息管理系统，对数据资源进行统筹管理；

②在研发设计环节，配置合理的数字化三维设计与工艺设计仿真等软件（如 AVEVA Marine、X-steel Tekla Structure 钢结构设计、SACS 海上结构设计分析软件、MSC Patran&Nastran 仿真分析软件、SimaNEST 套料、NAPA Steel 等）进行产品设计仿真；

③在生产作业环节，扩大智能装备应用，上线焊接机器人、布线机器人、大型机械臂，以机器人自动弯板替代人工水火弯板，以重型机械臂焊接钢部件，以虚拟现实技术实现结构装配等；

④在生产管理环节，建立面向生产过程中生产全要素实时

管控的制造执行系统（MES）、产线数字孪生系统、企业资源管理系统（ERP）、基于物联网的智能标签位置管理系统、设备数字化管理及自动在线监测系统软件平台，实现生产管控数字化；

⑤在运营管理环节，应用船厂可视化系统、船厂数字孪生系统，获取海量数据，利用大数据技术进行分析和决策，消除生产中的不合理性，构建供应链管理系统（SCM）、客户关系管理系统、成本核算平台等。

（3）实现流程优化

在智能化产线和数字化系统应用基础上，优化生产流程关键节点，如优化建造计划，优化建造物流，减少生产过程中零部件及材料再订货、制造、交货等环节的浪费，推动地区配套供应商之间的订货、制造、采购网络化、一站化，升级现有设备，改进工艺流程，实现精益管理。

（4）加强人才保障

随着智改数转网联的不断深入，企业用工模式将发生颠覆性的转变。单一技术能力已经很难适应现代技术的发展，技术人才除了要具备智改数转通用知识体系外，还需要具备知识和技术的融合能力、以智改数转的手段推动业务发展的前瞻能力，以及能突破原有思维跨界寻求解决方案的创新能力。

企业推进智改数转网联需要精益化、数字化、智能化复合型专业人才。通过人才保障机制，推进产教融合、校企合作，培养适合企业的智改数转网联人才。

（二）对接服务

1、诊断评估服务

■ 两化融合自评

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

■ 两化融合管理体系贯标

贯标方式包括三种：①自行贯标，适合基础较好，有前期贯标基础和人才的示范企业；②委托第三方贯标服务机构指导开展贯标，适合于基础比较薄弱、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；③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，联合咨询机构或评定机构进行课题研究，待研究成果成熟后再进行成果转化推广。登录网址：<https://jspg.cspiii.com/login>。

■ 数字化转型成熟度评估

企业可以通过线上线下结合方式展开诊断对标，线上（<https://www.dltx.com/zhenduan>）自诊断报告包括数字化转型总体得分、所处阶段、全国对标及行业对标情况在发展战略、新型能力、系统性解决方案、治理体系、业务创新转型等方面的短板和发展建议数字化转型总体发展建议。线下深度诊断将邀请评审

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

■ 智能制造能力成熟度评估

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

■ 数据管理能力成熟度评估（DCMM）

DCMM（Data Management Capability Maturity Assessment Model，数据管理能力成熟度评估模型）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：<http://www.dcm.org.cn>。

2、智改数转网联实施服务

■ 智能化改造数字化转型网络化联接服务资源池

智能化改造数字化转型网络化联接服务资源池（<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。

■ 江苏省工业互联网产业创新服务平台

江苏省工业互联网产业创新服务平台（www.caict-psoii.com）汇聚产业生态资源，加速领军企业培育，打造面向产业的创新服务体系。汇聚平台申报系统、领军平台企业、标杆示范工厂、数字政务系统、特色产业基地五类数据，面向产业监测、企业培育、应用推广三大方向，为政府及企业提供各类服务。

■ 江苏省工业互联网公共服务平台

江苏省工业互联网公共服务平台（<http://jsiips.asuncloud.com>）汇集省内平台相关荣誉信息。企业可使用企业画像、项目申报、竞争力对标分析等功能。通过完善平台信息实时查看平台区域、行业内的排名情况以及与对标企业的分析情况，了解自身在平台基础能力、平台服务能力、平台赋能能力、平台可持续发展能力等方面的优劣势，对平台发展具有指导性作用。

（三）政策支持

1、专项资金、试点示范

■ 国家级专项资金

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

（www.cntcitic.com.cn）。2024年项目有6项，包括服务器采购、面向重点领域工业互联网基础支撑及赋能公共服务平台、产业链协作和供应链预警平台、物联网基础安全接入监测平台、“5G+工业互联网”行业虚拟专网服务平台、标识解析全要素集成平台。

■ 国家级试点示范

为推进企业数字化转型，加快培育基于工业互联网平台的新模式新业态，工信部每年组织多类试点示范项目，包括：

- （1）新一代信息技术与制造业融合发展试点示范项目
- （2）工业互联网试点示范
- （3）工业互联网平台创新领航应用案例
- （4）智能制造示范工厂
- （5）国家新型工业化产业示范基地
- （6）智能工厂梯度建设

■ 省级专项资金

江苏省制造强省专项资金重点支持五大方向：智能化改造数字化转型网络化联接、关键核心技术（装备）工程化攻关、自主品牌企业培育、绿色化改造提升、产业支撑体系建设。

■ 省级标杆示范认定

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

- (1) 工业互联网示范工程项目
- (2) “互联网+先进制造业”特色产业基地
- (3) 智能制造示范车间
- (4) 智能制造示范工厂
- (5) 5G 全连接工厂
- (6) 智能工厂梯度建设

2、中小企业扶持政策

■ 省级专精特新中小企业申报认定

专精特新中小企业认定对创新型中小企业的重要扶持政策。申报企业须为中小企业，在江苏境内注册，具有独立法人资格，经营和信用状况良好，纳入“江苏省千企升级平台”培育库的在库企业，且经各设区市公告并报省工信厅备案的创新型中小企业。

■ 中小企业上市培育

江苏省工信厅每年组织多场省重点产业链优质中小企业上市培育活动，主要包括：

- (1) 专家讲解资本市场形势，包括发行监管政策解读、新三板政策解读、科创板审核要点解读及案例分析；
- (2) 拟上市企业操作实务，包括改制辅导及全流程解读、股权激励实务；
- (3) 标杆企业走访；
- (4) 企业其他融资策略分析，包括路演模拟、案例分析。

六、愿景与展望

江苏省是全国重要的海工装备制造大省，“智改数转网联”是实现海工装备行业高质量转型发展的重要举措。海工装备企业应该把握机遇，顺应趋势，主动作为，努力赶超，在智能化、数字化、网络化等方面，加快实施步伐，推动行业高质量发展。

（1）技术创新与融合

5G 与工业互联网的深度融合：5G 技术的高速率、低时延、广连接特性将与工业互联网平台进一步结合，实现海工装备制造全流程的海量数据高速传输和实时处理，为远程操控、智能决策和协同制造提供有力支撑。

人工智能与大数据的深化应用：人工智能技术在海工装备的设计、生产、管理和服务等全生命周期中广泛应用。利用大数据分析和机器学习算法，实现对海工装备运行状态的实时监测、故障预测和智能诊断。

（2）生产模式变革

柔性化与定制化生产：通过可重构生产线、增材制造技术和模块化设计，海工装备制造将能够快速响应客户的个性化需求，实现小批量、定制化生产，提高产品的市场竞争力。

智能化生产与无人化作业：机器人、自动化设备和智能控制系统在海工装备制造中的应用将不断增加，实现生产过程的自动化、智能化，提高生产效率和质量，降低人力成本和安全风险。

（3）产业链协同发展

全产业链协同制造：打破传统制造业的边界，实现设计、制造、供应链、服务等环节的数字化互联和协同优化。通过工业互联网平台，实现不同企业间的数据共享、协同设计、协同制造，提升整个产业链的效率和竞争力。

供应链的智能化与协同化：利用区块链、物联网等技术，实现海工装备供应链的智能化管理，提高供应链的透明度、可追溯性和协同效率，降低供应链成本和风险。

（4）服务模式创新

远程运维与服务：利用物联网、大数据、人工智能等技术，实现对海工装备的远程监测、故障诊断和预测性维护，提高设备的可靠性和运行效率，降低运维成本。

基于数字孪生的服务：建立海工装备的数字孪生模型，通过对虚拟模型的实时仿真和分析，为客户提供全方位的服务支持，包括产品设计优化、运行状态评估、故障预测和维修指导等。

通过3-5年的创新发展，实现我省海工装备产业结构更加优化，产业基础高级化、产业链现代化水平有效提高，创新能力大幅提升，自主可控现代产业体系基本形成，率先建成世界级海工装备先进制造集群，打造一批海工装备高质量发展示范区，以骨干海工装备制造企业为主导，大中小企业错位发展的产业格局，成为全国第一海工装备制造强省，世界海工产业重要力量。

附件

附件 1、改造投入清单

1、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 | 产线柔性配置、人机协同作业 | 钢材堆场 | 智能行车 | 钢板装卸、运输 | 20-80 | 国产 |
| 2 | | 钢材切割 | 智能切割产线 | 钢板智能切割、划线、下料和打磨 | 100-500 | 国产 |
| 3 | | 零件加工 | 零件智能加工单元 | 肋骨冷弯、曲板三维成形 | 50-300 | 国产 |
| 4 | | T型材装焊 | T型材智能制造产线 | T型材装配、焊接、矫正等 | 180-1000 | 国产 |
| 5 | | 小组立/中组立 | 部组件智能制造产线 | 小组立/中组立智能化装焊、高功率激光复合焊接 | 500-1500 | 国产 |
| 6 | | 平面分段/曲面分段制造 | 船体平面/曲面分段产线 | 平面分段/曲面分段拼板、装焊、运输 | 500-2000 | 国产 |
| 7 | | 管子加工 | 管子智能产线 | 管子上下料、切割、焊接、弯管、运输 | 800-1500 | 国产 |
| 8 | | 物流集配 | 智能化立体仓库 | 物料出入库、存储、输送、生产、分拣 | 800-2000 | 国产 |

| 序号 | 适用场景 | | 装备名称 | 主要功能 | 投入区间 (万元) | 国产/ 进口 |
|----|------|---------------|----------|----------------------|--------------|-----------|
| 9 | | 分段涂装 | 分段涂装智能车间 | 分段喷砂除锈、分段涂装、VOC 智能处理 | 600-2000 | 国产 |
| 10 | | 总组搭载/ 模块组装 | 搭载焊缝自动焊接 | 总段搭载焊接 | 50-200 | 国产 |

2、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 | CAD 软件 | 可帮助工程师进行船舶的二维和三维设计，提高设计效率和精度，实现从草图、建模、装配设计到出图的全流程应用 | 100-1000 | 国产 |
| 2 | CAE 软件 | 用于对船舶结构强度、流体力学、振动噪声等进行仿真分析，提前发现设计中的潜在问题，优化设计方案 | 100-800 | 国产 |
| 3 | 船舶生产管理系统 | 在造船生产管理全流程上实现数字化能力提升，包括设计管理系统、计划管理系统、生产作业管理系统、工程质量管理体系、物资管理系统、物流管理系统、钢材管理系统、设备管理系统、安全管理系统等 | 100-500 | 国产 |
| 4 | 产线/车间 MES 系统 | 用于车间生产过程的实时监控、调度和管理，实现生产计划的精确排产、生产进度的跟踪、设备状态的 | 100-500 | 国产 |

| 序号 | 工具软件 | 描述 | 投入区间 (万元) | 国产/ 进口 |
|----|------------|--|--------------|-----------|
| | | 监控、质量数据的采集与分析等 | | |
| 5 | PDM/PLM 系统 | 对船舶产品全生命周期中的数据进行管理，确保数据的准确性和一致性，提高设计和生产的协同效率。 | 100-300 | 国产 |
| 6 | 数据库管理系统 | 用于存储和管理船厂生产过程中的各类数据，为企业的决策支持和数据分析提供数据基础。 | 10-150 | 国产 |
| 7 | 工业自动化控制软件 | 用于对船厂的自动化生产线、机器人、数控设备等进行编程和控制，实现设备的自动化运行和生产过程的自动化控制。 | 10-50 | 国产 |
| 8 | SCADA 系统 | 可对船厂的生产设备、能源系统、环境监测等进行实时监控和数据采集，实现设备的远程监控、故障诊断、报警管理等 | 200-300 | 国产 |
| 9 | 办公自动化软件 | 用于船厂日常的办公文档处理、报表制作、邮件收发等工作，提高办公效率。 | 30-100 | 国产 |
| 10 | 项目管理软件 | 用于对船厂的大型项目进行计划、进度、资源、成本等方面的管理和控制，确保项目按时、按质、按量完成 | 50-200 | 国产 |

3、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 | 分段制造、管子加工 | 工业以太网交换机 | 实现多个设备之间的数据交换，使不同设备之 | 1.5-5 | 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 |
|----|-------------------|---------------|---|--------------|-----------|
| | | | 间可以高效、稳定地传输指令和数据。 | | |
| 2 | 分段制造、管子加工、物流集配 | 现场总线设备 | 用于连接现场的各种智能设备，实现设备之间的双向通信，现场总线技术能够减少布线复杂性，降低安装和维护成本。并且能够实时获取设备的状态信息，以便及时发现故障和进行预测性维护。 | 0.8-2 | 国产 |
| 3 | 分段制造、管子加工、物流集配 | 无线接入点（AP） | 提供一种灵活的联网方式，使得移动设备（如移动机器人、手持终端设备）能够接入工厂网络。可以实现设备的远程监控和管理，提高效率。 | 0.8-3 | 国产 |
| 4 | 分段制造、管子加工、仓储及物流集配 | 工业物联网（IIoT）网关 | 可以将不同设备的数据进行汇聚和转换，使它们能够在统一的网络平台上进行交互。并且可以对数据进行初步的处理和过滤，减少网络负载和数据中心的处理压力。 | 0.8-2 | 国产 |

4、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 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 | 零部件/产品编码 详细描述 模型/工艺信息 存储时间 |
| 2 | 虚拟试验和调试 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 | 零部件/产品编码 详细描述 模型/工艺信息 试验/调试时间 |
| 3 | 数据驱动产品设计优化 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 | 零部件/产品编码 详细描述 模型/工艺信息 生产现场数据信息 修改存储时间 |
| 4 | 数字化工艺设计 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 | 零部件编码 详细描述 工艺信息 存储时间 |
| 5 | 产品全生命周期数据管理 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 | 零部件编码 详细描述 模型/工艺信息 流转时间 |
| 6 | 生产计划优化 | 标识符 描述性信息 属性信息 资源信息 时间信息 | 作业编码 详细描述 作业名称、约束关系 作业资源 存储时间 |

| 序号 | 场景 | 数据要素类型 | 描述 |
|----|--------|--|---|
| | | | 下发时间 反馈时间 |
| 7 | 车间智能排产 | 标识符 描述性信息 属性信息 资源信息 时间信息 | 任务编码 详细描述 任务名称、约束关系 任务资源 存储时间 派工时间 反馈时间 |
| 8 | 钢材堆场 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 数量信息 质量信息 | 任务编码 详细描述 物资信息/工艺信息 存储时间 钢材数量 钢材质量 |
| 9 | 钢材切割 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 数量信息 质量信息 | 任务编码 详细描述 物资信息/工艺信息 加工时间 加工数量 加工质量 |
| 10 | 零件加工 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 数量信息 质量信息 | 任务编码 详细描述 物资信息/工艺信息 加工时间 加工数量 加工质量 |

| 序号 | 场景 | 数据要素类型 | 描述 |
|----|-------------|--|---|
| 11 | T 型材装焊 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 数量信息 质量信息 | 任务编码 详细描述 物资信息/工艺信息 加工时间 加工数量 加工质量 |
| 12 | 小组立/中组立 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 数量信息 质量信息 | 任务编码 详细描述 物资信息/工艺信息 加工时间 加工数量 加工质量 |
| 13 | 平面分段/曲面分段制造 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 数量信息 质量信息 | 任务编码 详细描述 物资信息/工艺信息 加工时间 加工数量 加工质量 |
| 14 | 管子加工 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 数量信息 质量信息 | 任务编码 详细描述 物资信息/工艺信息 加工时间 加工数量 加工质量 |
| 15 | 物流集配 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 | 任务编码 详细描述 物资信息/工艺信息 存储时间 |

| 序号 | 场景 | 数据要素类型 | 描述 |
|----|---------------|--|---|
| | | 数量信息 质量信息 | 物资数量 物资质量 |
| 16 | 分段涂装 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 数量信息 质量信息 | 任务编码 详细描述 物资信息/工艺信息 涂装时间 涂装面积 涂装质量 |
| 17 | 总组搭载/模块 组装 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 质量信息 | 任务编码 详细描述 物资信息/工艺信息 搭载时间 搭载精度 |
| 18 | 工艺动态优化 | 标识符 描述性信息 属性信息 资源信息 时间信息 | 任务编码 详细描述 任务名称、约束关系 任务资源 存储时间 派工时间 |
| 19 | 数智精益管理 | 标识符 描述性信息 属性信息 资源信息 时间信息 | 作业编码 详细描述 作业名称、约束关系 作业资源 存储时间 下发时间 反馈时间 |
| 20 | 质量追溯与分 析改进 | 标识符 描述性信息 | 作业编码 详细描述 |

| 序号 | 场景 | 数据要素类型 | 描述 |
|----|---------|--------------------------------------|--|
| | | 属性信息 资源信息 时间信息 | 作业名称、约束关系 作业资源 完工时间 质检时间 |
| 21 | 设备运行监控 | 标识符 描述性信息 属性信息 状态信息 时间信息 | 设备编码 详细描述 所属区域、运行时间、责任关系 设备状态 反馈时间 |
| 22 | 智能仓储 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 | 物资编码 详细描述 物资名称、质量信息、数量信息 入库、盘库、出库时间 |
| 24 | 安全一体化管控 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 状态信息 | 作业编码 详细描述 作业名称、责任关系 检查、监测时间 安全状态 |
| 25 | 能耗数据监测 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 数量信息 | 设备编码 详细描述 设备名称、能耗信息、责任关系 统计时间 能耗数据 |
| 26 | 污染在线管控 | 标识符 描述性信息 | 污染物编码 详细描述 |

| 序号 | 场景 | 数据要素类型 | 描述 |
|----|--------|--------------------------------------|--|
| | | 属性信息 时间信息 数量信息 | 污染物名称、区域、责任关系 监测时间 污染物统计数量 |
| 27 | 供应链协同 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 状态信息 | 物资编码 详细描述 物资名称、数量、责任关系 发起/反馈/截止时间 物资状态 |
| 28 | 主动客户服务 | 标识符 描述性信息 属性信息 时间信息 状态信息 | 意见编码 详细描述 意见名称、订单/项目名称、 客户名称、意见内容 发起/反馈/截止时间 意见状态 |

5、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 | 零件库/部件库 | 基于三维设计需求，建立零件库/部件库，提升设计效率 |
| 2 | 数字化工艺设计 | 工艺惯例库 | 按照设计规范、经验，建立工艺惯例库，提升工艺设计效率和质量 |
| 3 | 生产计划优化 | 物量工时定额库 | 建立物量工时定额体系和知识库，强化计划精细化程度，提升计划质量 |
| 4 | 钢材堆场 | 钢材管理知识库 | 钢材堆场、行车、司机等要素进行管理，建立堆场调度优化模型 |

| 序号 | 场景 | 知识模型 | 描述 |
|----|-------------|----------|------------------------------------|
| 5 | 钢材切割 | 钢材切割工艺库 | 切割工艺、划线印字、下料以及打磨等工艺信息进行分类整理 |
| 6 | 零件加工 | 零件加工工艺库 | 肋骨冷弯、曲板三维成形等工艺信息进行整理归纳 |
| 7 | 小组立/中组立制造 | 部组件制造工艺库 | 装焊工艺、焊接工艺、焊接坡口等工艺信息归纳 |
| 8 | 平面分段/曲面分段制造 | 中组立制造工艺库 | 拼板焊接、纵骨装焊、零部件识别、运输等工艺信息归纳整理 |
| 9 | 管子加工 | 管子加工工艺库 | 管子上下料、定长切割、焊接、弯管、运输等工艺信息归纳整理 |
| 10 | 物流集配 | 物资集配知识库 | 物料出入库、存储、输送、生产、分拣等工艺信息归纳整理 |
| 11 | 分段涂装 | 分段涂装知识库 | 油漆数量、油漆质量、涂装面积、喷砂除锈工艺等工艺信息归纳整理 |
| 12 | 总组搭载 | 分段合拢工艺库 | 总段对接、焊缝焊接、外板涂装等工艺信息归纳整理 |
| 13 | 质量追溯与分析改进 | 质量标准库 | 根据典型船型的中间产品质量要求，建立标准质量工艺库，提升质检效率 |
| 14 | 设备运行监控 | 设备状态知识库 | 根据不同设备运行状态，建立设备状态知识库，为设备巡检提供快速决策支持 |
| 15 | 能耗数据监测 | 能耗标准库 | 根据设备类型，建立标准库，为能耗监测提供快速决策支持 |
| 16 | 污染在线管控 | 污染物标准库 | 根据污染物标准，建立标准库，为污染监测提供快速决策支持 |

6、行业数字化转型人才技能清单

| 序号 | 人才技能类型 | 描述 |
|----|----------------|--|
| 1 | 船舶设计软件应用 | 了解软件之间的数据交互格式和接口，以便整合船舶设计的各个环节，实现设计数据的一致性和完整性。 |
| 2 | 船舶制造工艺数字化技术 | 了解船舶制造执行系统（MES），从而优化船舶制造工艺，提高生产效率和质量。 |
| 3 | 船舶智能装备与自动化系统知识 | 了解船舶智能感知设备，能够将这些传感器的数据进行整合和分析，实现船舶状态的实时监测。 |
| 4 | 船舶数据分析与仿真技术 | 利用仿真技术在船舶设计阶段预测船舶的性能，减少物理模型试验的次数，降低成本，并且可以对船舶在不同工况下的性能进行评估，为船舶的安全航行提供保障。 |
| 5 | 船舶建造流程优化 | 能够运用数字化手段对流程进行梳理和优化，熟悉船舶建造标准和规范，确保数字化技术的应用符合这些标准 |
| 6 | 船舶运营管理数字化 | 能够利用数字化平台实现船舶运营的高效管理，掌握船舶远程监控和故障诊断技术。 |
| 7 | 沟通协作能力 | 能够用专业的术语与船舶工程师交流技术细节，也能用通俗易懂的语言向船东解释数字化技术带来的好处。能够协调各方资源，共同推进数字化项目的实施。 |
| 8 | 学习创新能力 | 需要持续学习新的数字化技术和船舶行业的前沿知识。具备创新思维，能够提出适合船舶行业特点的数字化解决方案。 |
| 9 | 项目管理能力 | 能够领导船舶数字化项目，合理的项目计划、预算和时间表。有效应对项目实施过程中的风险和挑战。 |

附件 2、典型案例

1、招商 CM-META 工业互联网平台打造智转数改新基座

招商局重工（江苏）有限公司的“招云智联（CM-META）工业互联网平台”是江苏省重点支持的双跨（跨行业、跨领域）工业互联网平台，其核心目标是打造智能化改造与数字化转型的新基座，助力船舶海工制造高质量发展。

CM-META 平台深度融合新一代信息技术与船舶制造工业场景，为解决船舶制造周期长、资源种类繁多、人工成本大、协同效率低等问题，构建了海量数据采集、汇聚、分析的服务体系。该平台支持 350 多种工业协议解析，实现研发周期缩短 30%、生产效率提高 30%、产品运维效率提升 30%、企业运营成本下降 20% 等建设效益，通过构建设备管理、数据分析、应用开发等应用服务，不断推动产业链高质量数字化转型升级。



图 32 CM-META 工业互联网平台

2、南通中远海运川崎船舶工程有限公司智能化车间

南通中远海运川崎船舶工程有限公司被誉为中国造船业标杆企业。公司劳动生产率、钢材利用率、能耗、单船工时等多项经济技术指标保持中国造船纪录，部分指标达到日、韩先进水平，被誉为世界最具竞争力船厂。

南通中远海运川崎船舶工程有限公司通过设计源头的精益化、数字化和标准化，支撑全流程管理的精益化和产品制造的智能化。通过先行舾装、先行涂装和分段总组工艺的循环改善，有效提高了生产作业效率和船舶质量；全面推行、贯彻 ISO9001 质量标准，实行精度管理，率先在国内实现了无余量造船。通过合理的工厂布局、先进的生产设备、科学的生产流程，使公司具备了建造各类“高、精、尖”船舶的技术装备和生产条件。

南通中远海运川崎船舶工程有限公司 2015 年被国家工信部认定为海工装备行业首家智能制造试点示范企业。公司智能船厂建设项目成功入选工信部“2017 年制造业与互联网融合发展试点示范名单”，成为海工装备行业唯一智能工厂解决方案试点示范企业。2019 年先后获评江苏省先进制造业和现代服务业深度融合试点企业、省工业互联网标杆工厂、省五星上云企业。

南通中远海运川崎船舶工程有限公司智能车间拥有型钢自动化生产线、条材焊接机器人生产线、先行小组立机器人生产线及小组材焊接机器人生产线等多条自动化、智能化生产线，大部分属于国内海工装备行业首台套应用。在船体 MES、舾装 MES

等信息化系统的支撑下，已建成的生产线具备了物料信息传输智能化、物料加工智能化、物料分类感知智能化、物流运输感知智能化等功能。通过不断攻关，公司建成了具有示范作用的船舶制造智能车间，实现了各加工系列的智能制造，达到工装自动化、工艺流水化、控制智能化、管理精益化，保证了产品质量稳定，缩短了加工周期，极大地提高了生产效率，产品质量和建造效率达到世界先进水平。



图 33 南通中远海运川崎船舶工程有限公司智能化设备

3、启东中远海运海工 5G 专网建设

启东中远海运海洋工程有限公司隶属中国远洋海运集团旗下中远海运重工有限公司，是系统内唯一一家专门从事海工装备和模块制造的企业。总体布局“一坞二滑道七泊位”，拥有现代化大型智能生产车间和齐全的配套设施。

在坚持智能化发展方向的基础上，启东中远海运海工全面推动落实了 5G 专网建设，实现了厂门、作业区和办公区域的智能化联网工程，实施人工信息统计。结合 5G 应用规划，整合经营

订单、生产计划、技术工艺、质量检验、物资采购等信息数据，搭建业务信息平台。针对生产条线，通过机加工智能单元的点状试验，推进厂内焊机、吊铲运等设备设施智能化联网，建立钢板预处理、条材自动切割生产线等智能单元、产线，引进专用智能生产装备，落实设备设施数据贯通、资源共享和业务协同。针对设计条线，在文档管理、图纸签收、图纸修改上充分利用数字化管理平台，提高对设计工程融入生产管理系统的开发，积极发挥生产、设计系统在数字化转型过程中的主体作用。

4、惠生清洁能源科技集团新厂区数智化建设

惠生清洁能源科技集团主要业务范围：海工装备、船舶、LNG装置和陆地模块的研发、设计、制造、维修、安装、调试及销售等；提供浮式液化天然气设施、陆上标准模块化 LNG 工厂、浮式风电及其它清洁能源解决方案等。

惠生在南通新厂区建设中引入先进智能切割分解技术与物流系统设计，为智能化生产奠定基础。在管道加工和 FLNG 罐子制造车间，分别构建多条流水线和应用高比例的自动化焊接技术。在全厂区数字化方面，将采用数字孪生技术实现厂区生产作业实时动态显示。新厂区预计 2026 年完全投产，将成为国内最先进的船舶海工制造基地之一。

5、招商局重工（江苏）有限公司薄板分段生产线

招商局重工（江苏）有限公司建设了薄板分段全自动激光焊接智能化生产线，采用智能行车、激光复合焊、机器人焊接等新

工艺装备及先进的数字化工厂管理系统，是目前世界上最先进的薄板分段智能生产线。全自动激光焊接薄板流水线是整个智能化工厂（激光中心）的核心生产设施，高度集成板材自动铣边、激光拼板焊接、切割/划线/打磨、纵骨自动装焊设备，用于豪华邮轮上建分段拼板及纵骨焊接。

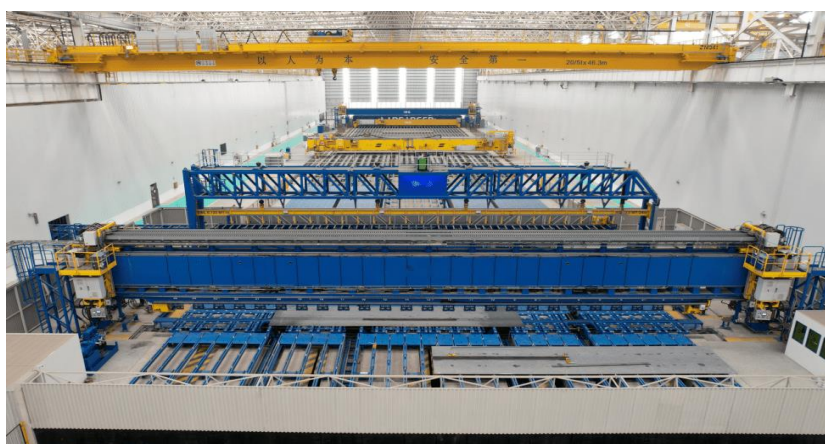


图 34 招商局重工（江苏）有限公司薄板分段生产线

6、扬州中远海运重工有限公司智能化改造项目

扬州中远海运重工有限公司主要从事中大型船舶、水上浮动装置制造等。公司致力于打造中国领先、世界一流的智能化大型造船企业。近年来，扬州中远海运重工积极推进智能化改造数字化转型网络化联接工作，引进 AVEVA Marine、Tribon M3 等大型船舶设计软件，具备三大主力船型的船舶设计、制造和软件研发能力。在信息化方面，积极推进 SAP ERP、N-MACS 等信息化系统建设，支撑计划、设计、物资、生产的统一精细化管理。在智能制造方面，应用 5G、大数据、云计算、物联网等先进技术，以精益设计为基础，以生产为中心，以提高效率、提高质量，降

低成本为根本目的，以数字流作贯通，建立可记录、可分性、可追溯、可改善的生产体系；加强工艺流程布局研究，实施了内业、管道加工车间的升级改造；积极推动两化融合工作，逐步实施自动化、智能化升级改造，助力企业提高生产效率，缩短制造周期。目前，扬州重工正在新建智能管加工车间，新车间采用“自动化立体仓库”“先焊后弯”“自动弯管”“法兰自动装焊一体机”“高级自动化排产”“全自动物流”等先进工艺技术，满足大、中、小管径碳钢和不锈钢管加工工艺流程，在软件上规划集成 Y-MACS 系统、管加工车间数字孪生系统、管加工车间 MES 系统等其它上下游系统，实现管加工全流程数智化管理系统。

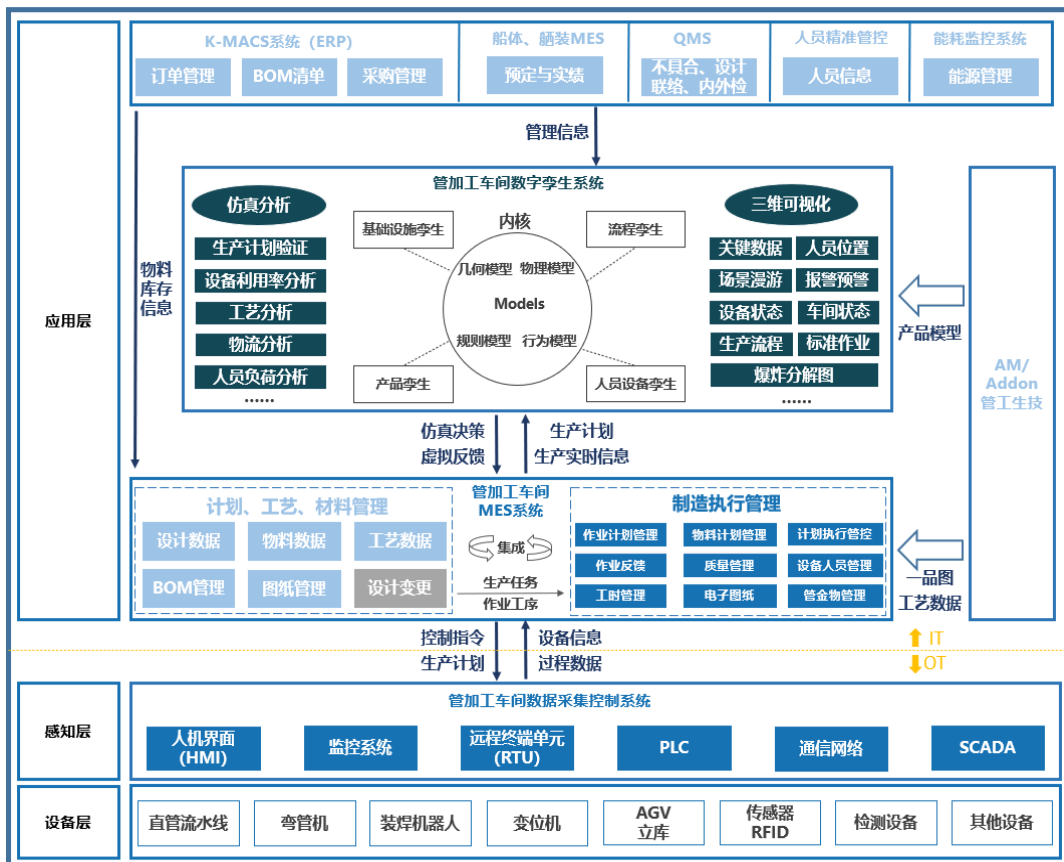


图 35 扬州重工管工车间数字化规划框架

7、江苏新时代造船有限公司视觉智能识别焊接机器人

江苏新时代造船有限公司是一家集船舶设计、制造于一体的大型民营企业。在船舶制造信息化方面，江苏新时代造船公司拥有独立的上海设计研发公司和经江苏省认定的技术中心，先后与国内外先进船舶设计院所开展广泛的技术交流和合作，具备详细的生产设计能力。江苏新时代造船公司构建“数字化船厂”+“智能化船舶海工设备”新型生产模式，引进小组立焊接机器人、斜梯切割—焊接机器人、智能化弧焊机器人、法兰自动焊接生产线等装备、推进智能工厂建设项目、机器人生产线改造等智能化工程；积极探索海工制造企业智能化改造数字化转型网络化联接。



图 36 视觉智能识别船舶小组立全自动焊接机器人

8、扬子江船业集团公司中间产品完整性

扬子江船业集团公司是集造船及海洋工程制造为主业，航运租赁、贸易物流、地产置业为补充的大型企业集团。公司拥有一

流的造船技术，强大的造船设施和装备，完善的生产工艺流程，是国家工业企业知识产权运用试点企业。

近年来，扬子江船业以建立现代造船模式为主线，从深化生产设计入手，积极推行精益造船和绿色造船，并建立中间产品完整性和质量标准，进一步提升造船总装程度和造船管理效率，使企业各项造船管理指标走在全国同行业前列。特别是在深化精益管理过程中，多措并举提高下水完整性的做法颇具特色。技术部门通过优化生产设计标准，提高生产设计图纸准确率，完善各专业材料报购机制、及时处理现场问题等手段，为生产部门按计划均衡组织生产创造条件。为新加坡太平船务有限公司建造的第九、第十艘 11800TEU 集装箱船出坞完整性达到 97.47%，创造了同型系列船出坞完整性最高纪录。出坞完整性的进一步突破得益于生产设计的不断深化，得益于企业各部门间的协同作战，得益于生产组织管理部门的执行力。围绕开工、上船台、下水、交船四大节点，企业制定了严格的大计划红线，每一位管理干部和一线员工围绕大节点计划千方百计保节点、抓精度、提质量。

9、江苏现代造船技术有限公司一体化集成解决方案

江苏现代造船技术有限公司是由江苏科技大学发起成立的科技型服务企业。公司是江苏省经贸委设立的省级行业技术中心“江苏省船舶先进制造技术中心”和江苏省科技厅批准成立的省级科技公共服务平台“江苏省船舶数字化设计制造技术中心”的运行载体，是工业和信息化部认定的国家中小企业公共服务示范

平台。2011年江苏省教育厅批准公司建设“江苏省船舶数字化设计制造技术工程实践教育中心”。

江苏现代造船技术有限公司针对船舶工业转型升级的技术动态和船舶企业的迫切需求，应用“互联网+”技术，成功研发“现代造船解决方案-CSS系统”以及“现代修船解决方案-CRS系统”。系统集成船舶修造企业数据标准和业务流程，以工程分解为纲领、以计划管理为核心，覆盖“设计、生产、质量、安全、物资、成本”管理环节，基于移动互联，高效采集、反馈生产过程中的各种数据，为船企各层管理者提供一体化的数据平台和解决方案，助力船舶企业迈向卓越。



图 37 江苏现代造船公司一体化集成解决方案（CSS 系统）

10、无锡华联科技集团有限公司智能产线装备

无锡华联科技集团有限公司创建于 1987 年，是我国第一批专业从事焊接切割、数控系列产品、智能产线装备产品的焊割行

业领军企业。公司是国家高新技术企业、国家级专精特新“小巨人”企业。

公司深耕船舶海工、建筑钢结构、桥梁钢结构等行业领域设备的研发、设计和生产制造，产品涵盖焊，切，钻，铣，自动化物流等成套产线装备及设备，包括钢结构智能生产线、数控切割设备、T型材装焊生产线、平面分段流水线、薄板激光复合焊生产线等。由无锡华联承担或参与建设的非标定制智能焊接车间已数次进入工信部示范项目，是造船海工、桥梁钢构、建筑钢构等领域智能化生产装备与智能车间成套设备的主要供应商。主导产品获得“国家重点新产品”“江苏省专精特新产品”“江苏省名牌产品”“江苏省首台（套）重大装备产品”等荣誉称号。

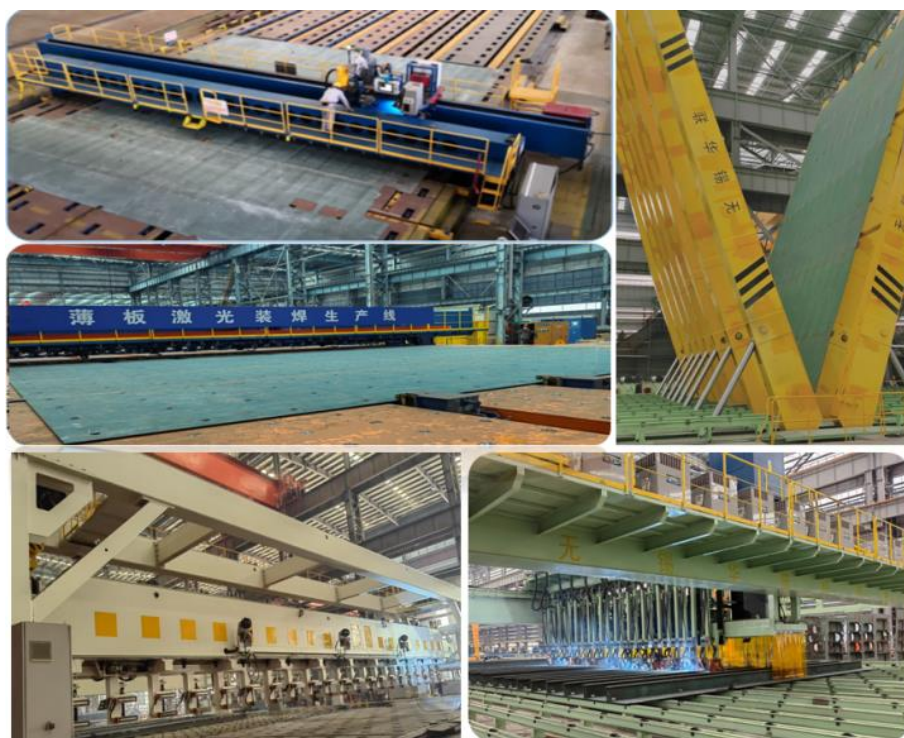


图 38 无锡华联智能产线装备

附件3、服务商目录

| 序号 | 名称 | 所在地 | 主营业务及优势 |
|----|-----------------------------------|---------|--|
| 1 | 中国船舶集团第八研究院——中船重工鹏力（南京）智能装备系统有限公司 | 江苏省南京市 | 数字化工厂系统集成服务商，为船舶、海洋工程等离散制造行业提供智能制造工艺装备、专用软件和智能制造系统解决方案。 |
| 2 | 中国电子科技集团公司第十四研究所——中电国睿集团 | 江苏省南京市 | 提供数字化车间集成、智能工厂集成、协同制造集成、总体方案规划等，基于 Wise 工业互联网平台，实现了产品、设备、人三者之间的互联。 |
| 3 | 江苏现代造船技术有限公司 | 江苏省镇江市 | 专注于船舶数字化设计、船企数字化信息化，为船舶与海工装备企业提供数字化造船、修船一体化解决方案及技术服务。 |
| 4 | 中船重工第七一六研究所 | 江苏省连云港市 | 海工装备行业智能制造系统、数字化车间等成套解决方案的装备及系统供应商。 |
| 5 | 无锡华联科技集团有限公司 | 江苏省无锡市 | 从事焊接切割与智能装备产线的领军企业，为造船海工、桥梁及建筑钢构等领域提供智能化生产装备与智能车间成套设备的主要供应商。 |

| | | | |
|----|------------------|------------|--|
| 6 | 昆山华恒焊接股份有限公司 | 江苏省 昆山市 | 焊接自动化整体解决方案提供商，在焊接工艺技术、焊接机器人、工厂自动化和智能化装备领域提供整体解决方案。 |
| 7 | 镇江市金舟软件有限责任公司 | 江苏省 镇江市 | 深入研究船舶企业的管理流程，构建船舶企业信息模型，提供适合国情的 ERP 管理、成本管理及科研管理等软件产品。 |
| 8 | 南京奥特自动化有限公司 | 江苏省 南京市 | 致力于为国内外提供先进管道预制装备的高新技术企业，为石化、海洋工程、船舶工程等众多领域提供智能化管子加工装备。 |
| 9 | 江苏阳明船舶装备制造技术有限公司 | 江苏省 镇江市 | 主要从事船舶智能制造装备的研发、生产，拥有各种专利 100 余项，合拢管设计制造系统是自主研发的国内首台套产品，达到国际领先水平，国内市场占有率达到 100%。 |
| 10 | 无锡汉神电气股份有限公司 | 江苏省 无锡市 | 集焊割产品研发设计、生产制造、销售服务为一体，产品包括机器人焊接工作站、数控切割机、相贯线切割机、激光焊割专机、打磨除尘净化设备等。 |
| 11 | 江苏科技大学海 | 江苏省 | 专门从事海洋装备及智能制造技 |

| | | | |
|----|----------------|------------|--|
| | 洋装备研究院 | 镇江市 | 术研发，研发了薄板矫平机、涂装机器人、船舶焊接电磁感应热处理系统等船舶智能制造装备。 |
| 12 | 唐山开元自动焊接装备有限公司 | 河北省 唐山市 | 以焊接技术为核心，融汇机械、电气、控制及信息等技术，广泛应用于汽车、造船、工程机械海洋工程、港口机械等诸多领域。 |
| 13 | 南京合信自动化有限公司 | 江苏省南京市 | 专精于船舶及海工智能化焊接领域，智能制造系统装备和数字化车间解决方案的系统供应商。 |

附件 4、技术缩略语

| 序号 | 缩略语 | 全称 | 释义 |
|----|------|---|-----------|
| 1 | IoT | Internet of Things | 物联网 |
| 2 | AI | Artificial Intelligence | 人工智能 |
| 3 | PDM | Product Data Management | 产品数据管理 |
| 4 | BOM | Bill of Material | 物料清单 |
| 5 | EBOM | Engineering Bill of Materials | 工程/设计物料清单 |
| 6 | PBOM | Process Bill of Materials | 工艺物料清单 |
| 7 | MBOM | Manufacturing Bill of Materials | 制造物料清单 |
| 8 | MES | Manufacturing Execution System | 制造执行系统 |
| 9 | NDT | Nondestructive Testing | 无损探伤 |
| 10 | VOCs | Volatile Organic Compounds | 挥发性有机物 |
| 11 | CIMS | Computer Integrated Manufacturing Systems | 计算机集成制造系统 |