六盘山实验室
LIUPANSHAN LABORATORY

大规模定制柔性关键技术

李彦梅
六盘山实验室
2026年11月23日

柔性是大规模定制核心能力

六盘山实验室 LIUPANSHAN LABORATORY

面对覆盖多型号、千余项产品系列、数万处质量控制点、百万量级零部件的大规模定制生产场景，柔性制造是实现“质量-成本、效率-效益”协同最优，破解传统模式多目标优化权衡困境的关键路径。



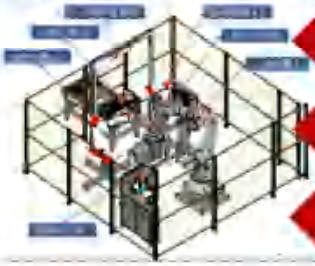
装备-软件协同的柔性化能力构建

六盘山实验室

柔性能力的构建，以工序组合更灵活、资源匹配更实时、控制逻辑更柔性为目标，聚焦硬件柔性重构、软件动态适配、软硬件智能互操作，破解当前制造系统在适配大规模定制生产模式过程中存在的软硬件相互独立、计划与执行脱节、静态管控与动态扰动矛盾、局部优化与全局决策割裂等瓶颈问题。

装备柔性





数控机床、3D打印、机器人等柔性装备提升了单台设备的柔性加工能力；多台设备集成实现的柔性制造单元，可服务更为复杂的柔性装配任务；柔性制造单元互联互通形成柔性产线，实现多品种变批量的灵活重构生产；

软件柔性



基于柔性构造可实现柔性业务软件的快速生成；基于IT/OT深度融合，柔性业务软件可实现从业务、工序到工步的多级协同；结合实时感知和智能调度能力，实现制造过程的精准化柔性调度和管控。

柔性落地的关键技术与短板瓶颈

六盘山实验室

应用工业互联网、机器视觉、数字孪生、生成式人工智能等技术，攻克智能设计、工艺创成、工业级语义互操作、智能在线检测、设计制造检测一体化等瓶颈，构建工业垂域模型与工业智能体，赋能传统数字化制造软硬件系统。



检索复用驱动的参数化变型设计

面向定制化产品兼顾个性化目标下的变型调整、谱系衍生、快速迭代等多重设计需求，通过**多源设计资产构建、多模态模型检索、结构复用与参数化变型**以及**一致性校核**四个方面，实现从历史设计知识检索、相似结构复用到参数驱动模型的智能化设计。







知识与约束驱动的工艺创成

针对刚性固定工艺难以适配多品种变批量生产，存在工艺编制工作量大、工艺准备周期长等痛点，通过**工艺知识底座、工艺路线智能规划、工艺参数智能生成以及工艺路线实时优化**四个方面，实现从知识获取、路线生成到参数优化的全流程智能化工艺创成。







工业级语义驱动的IOT智能互操作

面对IT与OT双向交互链路割裂、异构设备协议不统一、换产重构响应效率偏低，跨工序-工步-指令协同联动困难等问题，研究**多元异构设备接入、IOT语义统一建模、基于语义的自适应集成**技术，实现“工序-工步-指令”的语义级联动与跨域互操作，支撑流程柔性变更、快速换产、资源动态重构与生产异常快速响应。



知识与数据驱动的柔性工装研制

面向大规模定制制造单元自适应柔性夹持需求，通过**末端多模态定位夹持、本体构型柔性配置、夹持参数自适应调控以及柔性工装与工装库研制**四个方面，实现从末端、本体、调控到替换的多层次自适应柔性夹持。



智能在线检测

六盘山实验室 LIUPANSHAN LABORATORY

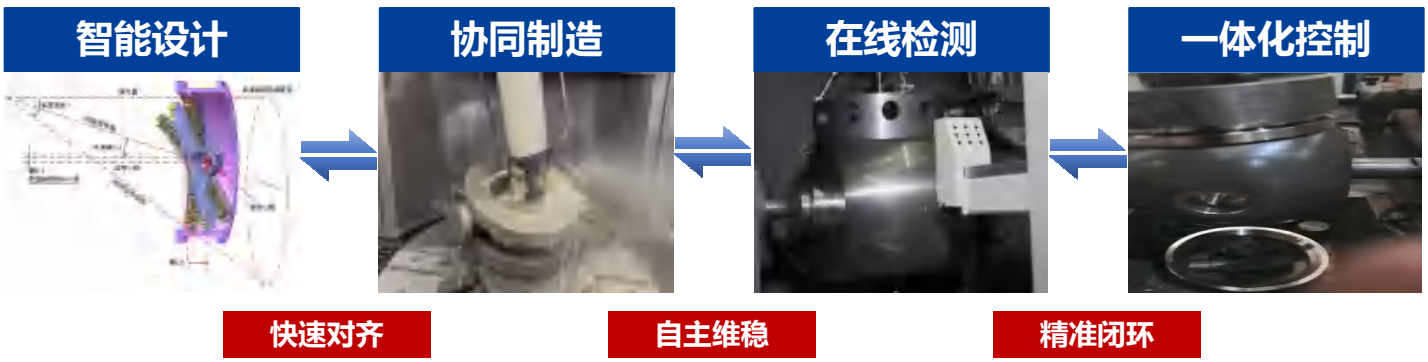
面向智能检测需求，通过柔性化硬件适配、小样本AI快速迁移 、 端边云数据闭环等技术解决检测模型配置周期长、缺陷样本稀缺、检测数据与工艺优化脱节等问题，实现快速适配、精准判异、持续进化的智能检测技术。



设计-制造-检测一体化

六盘山实验室 LIUPANSHAN LABORATORY

面向跨环节业务深度协同与全链路质量一体化管控需求，基于语义互操作技术实现多端指令级协同，驱动**生产要素快速对齐**、**跨节点指令传输- 计算- 执行精准闭环**，打通设计、制造、检测环节的信息反馈通道，解决一体化流程下偏差闭环纠错问题，最终实现设计- 制造- 检测一体化协同与全链路质量管控。



进一步研发计划

六盘山实验室 LIUPANSHAN LABORATORY

智能制造云平台

- 软硬件轻量解耦
- 异构协议敏捷兼容
- 云边端低成本调度
- 轻量数据总线贯通
- 业务组件即插即用
- 专业AI普惠赋能

工业智能体

- 2d/3d设计生成智能体
- 工艺生成智能体
- 订单解析与联动智能体
- 任务自动分解智能体
- 高级排程智能体
- 产品齐套智能体
- 产线自适应与重构智能体

工业垂域模型

- 知识与数据混合模型
- 2D/3D生成模型
- 少样本与极值预测模型
- 高频时序推理模型
- 工艺机理自演进模型

工程应用

柔性智能制造系统

产品智能设计	工艺智能生成
订单多级联动	工序精准执行
产线快速重构	策略自主编排
计划动态调整	资源按需调度

柔性中试单元

造型单元	成形单元
加工检测一体化单元	表面强化单元
焊接单元	柔性装配单元



谢谢！