面向离散制造业的智能脉动管控

文 | 航空工业信息技术中心（金航数码） 廖庆妙 于晓楠 伏晓露

航空工业信息技术中心（金航数码）脉动生产线是一种源于航空制造业、可用于离散制造业的生产组织模式，它通过重塑工艺流程和生产组织模式，确定生产节拍，实现站位式管理，有效解决了传统机库式（停车场式）装配存在的周期长、质量低、成本高以及应变能力差等问题。

国外航空企业在飞机总装模式方面率先进行探索，波音公司 1999 年建立波音 737 移动式装配生产线，目前，空客、洛•马等已采用脉动生产模式。我国航空工业从 2010 年西飞的国内首条飞机总装脉动生产线，到 2018 年陕飞总装脉动生产线投产，飞机总装逐步从传统模式向脉动模式转变。

信息技术中心（金航数码）为加快脉动生产模式推广应用，同时亦为满足航空工业智能制造发展要求，充分借鉴吸收国内外先进成熟的飞机数字化、信息化和智能化技术，重点在生产线规划、智能计划调度、智能生产协同、三维可视化、智能分析与预警等方面进行技术攻关，建设脉动管控系统实现对脉动生产线的管理。

一、基于建模仿真的脉动生产线规划

脉动生产线涉及制造系统的人、机、料、法和环等多种要素，采用建模仿真的方法进行生产线评价，然后根据评价结果优化实施生产线建设。

生产线要素分析是建模与仿真的基础，基于对站位数量布局、工艺规划、物流路径和设备布局等生产线要素的分析，将站位布局、作业内容、资源配置、物流配送和作业人员等抽象后，构建仿真模型，并对制造过程进行参数设置和过程定义，从而实现对制造过程的模拟仿真。仿真评价与优

化是对已构建的脉动生产线仿真模型进行生产能力、经济效益、站位平衡率、设备利用率、物流量和生产周期等制造系统整体指标和单项指标进行评价，以便评估脉动生产线实施效果。

同时以现场设备、物料、人力资源配置和物流配置为对象，对资源分配等情况进行判断，确定关键资源，通过迭代优化算法，基于现场资源的调度机制实现数字化生产线的动态平衡和持续优化。

二、基于装配网络图的智能计划调度

装配计划与重调度是脉动生产线能否“脉动”的关键要素。为了更灵活应对现场临时突发状况，采用站位 -AO 两级计划模式，站位级计划重点解决站位冲突，AO 级计划重点考虑 AO 间复杂的串并行关系，并保障人员、设备、工装和物料等资源的配置满足任务需求。脉动生产线计划与重调度流程如图 1 所示。

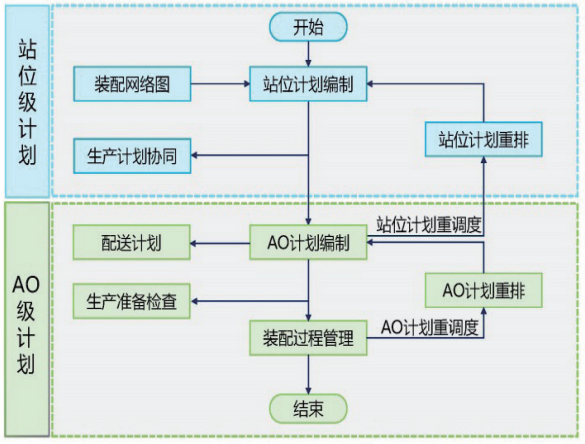

图 1 脉动生产线智能计划与重调度

首先基于站位节拍和订单优先级编制站位计划，然后基于站位计划的起止时间，结合装配网络顺序图编制各站位的 AO 计划。系统动态感知脉动生产线的人、机、料、法和环的变化，自动进行 AO 计划重调度。如果 AO 计划的调整影响了关键路径，导致 AO 计划超出了该站位的结束时间，系统就会自动申请站位计划调整，站位计划的调整将影响到最终产品的交付。

三、基于一体化管控的智能生产协同

智能生产协同实现采购供应、零件加工、部装、脉动总装以及生产准备相关部门之间的协同，保证脉动装配所需的资源及时供应，避免因缺件等因素影响脉动装配节拍。通过生产线智能协同管理，使零件生产、部装生产、成品采购与装配进度保持一致，避免产生信息孤岛，从而缩短装配、零件生产和采购周期，实现准时交货、快速响应装配要求。

当生产过程出现异常时，相关人员可以直接将问题通过系统进行反馈，系统支持问题的分类，不同类型的问题发送到不同的部门，不同级别的问题有不同的处理流程，支持问题处理拖期自动升级，从而可以实现生产现场问题信息的及时共享，相关部门可及时进行问题处理，减少停工时间，确保产品交付。

此外，系统提供生产管控会议功能，将影响脉动节拍的各类问题进行汇总、展示，快速便捷地查看各类问题，落实责任人、责任单位，制定解决措施，反馈问题处理进度，提高会议效率，保障脉动现场正常运行。

四、基于轻模型的三维可视化

基于总装脉动生产线建立三维展示模型，集成数据采集、记录、图表、报告和分析功能，构建一体化的三维可视化展示系统。集成多维度信息监控网络，完成生产线状态信息动态跟踪。定制满足生产管理角色权限的实时看板，实现对生产过程中作业状态、物流状态和产品质量状态等信息的全方位获取和追踪，如图 2 所示。

五、基于大数据的智能分析与预警

脉动生产线智能分析与预警综合利用生产过程数据、设

图2 基于三维模型的实时进度信息展示

投稿邮箱 cadcam@idnovo.com.cn IMCHINA@idnovo.com.cn

备数据和物料配套数据，运用统计分析和数据挖掘技术，对脉动生产线的运行状态进行分析和预测，提前发现问题、规避风险，保障脉动生产线平稳高效运行，如图 3 所示。

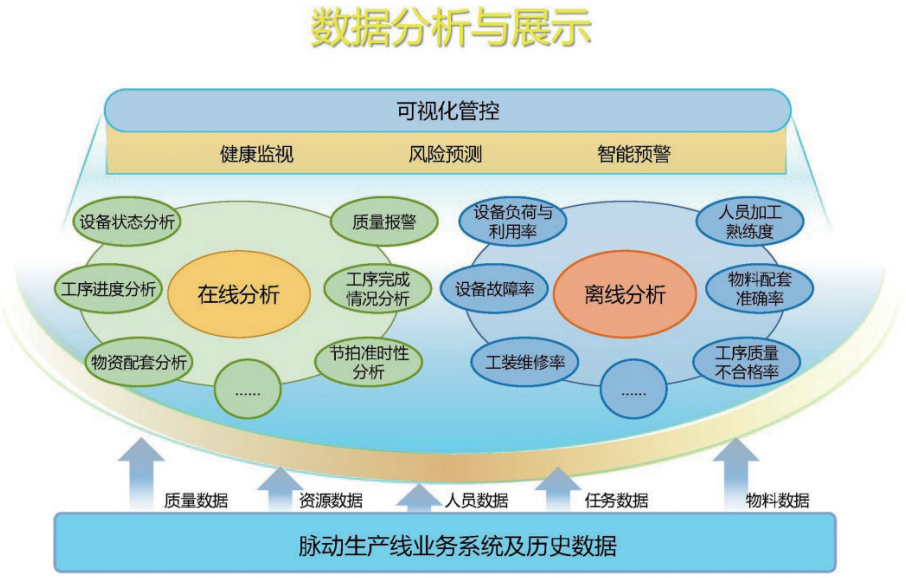

图 3 脉动生产线智能预警分析体系

1、脉动生产线运行状态在线分析

对生产线执行状态进行实时监控，重点关注物料配套 / 配送、生产进度、质量问题、站位问题和设备的运行状态，从站位、生产计划和架次等多视角分析并生成分析报告，包含预警、状态和结论信息，并将预警信息发送到负责人。

2、脉动生产线运行状态离线分析

对生产线运作过程中产生的历史数据进行处理，通过聚类分析、相关性分析等算法，挖掘生产进度、生产配套情况、设备和工人可靠性等因素对生产的影响，为生产线生产持续优化提供决策支持和指导。

3、脉动生产线风险预测及智能预警

根据历史数据，对工装工具、设备和人员状态进行预测、预警，并根据设备、工装工具、质量和物料等问题形成问题解决方案知识库，支持脉动生产线运行。

六、结论

金航总装脉动管控系统通过建模与仿真，协助企业进行脉动生产线规划设计与资源配置。

◎ 通过智能装配计划与调度，保障脉动生产节拍。

◎ 通过三维可视技术，实现生产过程透明化。

◎ 通过一体化智能生产协同，保障脉动生产资源准时配套。

◎ 通过智能分析与预警，实现数据驱动的脉动生产决策。

金航总装脉动管控系统是离散制造业脉动生产线的最佳支撑工具，能真正协助企业建立符合“动态感知、实时分析、自主决策以及精准执行”的智能脉动生产线。