

# 关于建设航空智能生产线的思考

## Suggestions on Aeronautic Intelligent Production Line Construction

中航工业北京航空制造工程研究所 侯志霞 邹方 王湘念 吕瑞强



侯志霞

中航工业北京航空制造工程研究所研究员,长期从事数字化制造、柔性装配等技术研究。

智能制造是全球制造业发展的趋势,智能制造系统作为智能制造技术的集成应用环境,目前已成为主要工业发达国家提早布局的重点。德国提出“工业 4.0”概念,美国也推出工业物联网、互联企业等类似概念,其主要特征都是智能和物联。根据德国“工业 4.0”描绘的美好前景,在现代智能机器人、传感器、数据存储和计算能力成熟后,现有工厂将能通过网络把供应链、生产过程和仓储物流智能连接起来,真正实现生产过程全自动化、

智能生产线将先进工艺技术、先进管理理念集成融合到生产过程,实现基于知识的工艺和生产过程全面优化、基于模型的产品全过程数字化制造以及基于信息流物流集成的智能化生产管控,以提高车间/生产线运行效率,提升产品质量稳定性。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.08.050

产品个性化、管理智能化<sup>[1]</sup>。

工业 4.0 描述的智能工厂系统完全不同于传统的工厂自动化系统,智能工厂采用面向服务的体系架构,在生产现场层面使用物联网技术;在控制级采用信息物理融合生产系统(CPPS)技术;上层的监控管理层级连接到安全可靠和可信的云网络主干网,采用服务互联网的方式提供服务<sup>[2]</sup>。

我国制造业也将智能制造作为新一轮产业技术变革的主要方向,致力于构建自己的智能制造产业体系。智能装备、智能工厂等未来生产手段和方式将广泛替代传统的生产方式。建立符合航空产品生产特点的智能车间/生产线,可以有效提升产品的质量稳定性和生产效率,并满足多品种、小批量、柔性化生产需求。

### 生产线概述

生产线是按对象原则组织起来,

完成产品工艺过程的一种生产组织形式。随着产品制造精度、质量稳定性和生产柔性化的要求不断提高,制造生产线正在向着自动化、数字化和智能化的方向发展。生产线的自动化是通过机器代替人参与劳动过程来实现的;生产线的数字化主要解决制造数据的精确表达和数字量传递,实现生产过程的精确控制和流程的可追溯;智能化解决机器代替或辅助人类进行生产决策,实现生产过程的预测、自主控制和优化。

产品制造过程涉及物料、能源、软硬件设备、人员以及相关设计方法、加工工艺、生产调度、系统维护、管理规范等。生产线配备的工艺装备与生产的工艺要求相关,通常有加工设备、测量设备、仓储和物料运送设备,以及各种辅助设备和工具。自动化生产线需配备机床上下料装置、传送装置和储料装置以及相关控制系统。在人工智能技术的支持下,通

过提升信息系统与物理制造过程的交互程度,形成智能化生产线系统,实现工艺和生产过程持续优化、信息实时采集和全面监控的柔性化可配置,是制造业未来发展趋势。

航空生产线主要按专业划分并组织生产,分为机加生产线、装配生产线、钣金生产线、复材生产线等,目前不管是工艺方法、工艺装备还是信息化环境等都与智能化存在较大差距。主要表现在:工艺方法存在经验试错现象,热成形、塑性变形、切削加工等制造过程中工艺方法和工艺参数的选择以经验为主,仿真计算的能力和工程化水平较低;工艺装备的传感器部署和智能决策规则尚不健全,不具备工况的感知和实时处理能力;机器人的集成应用水平低,大量危险和劳动强度大的工作仍然由人完成;生产管控能力不足,导致生产线柔性不足、整体运行效率低下。

### 智能生产线架构

与传统生产线相比,智能生产线的特点主要体现在感知、互联和智能3个方面。感知指对生产过程中的各种不同类型数据的感知和采集,并进行实时的监控;互联指生产线所

涉及的产品、工具、设备、人员互联互通,实现数据的整合与交换;智能指在大数据和人工智能的支持下,实现制造全流程的状态预知和优化。

建设智能生产线需实现工艺的智能化设计、生产过程的智能化管理、物料的智能仓储、加工设备的智能化监控等。图1为智能生产线方案架构的示意图。智能生产线由3层架构组成,制造数据准备层实现基于仿真优化和制造反馈的工艺设计和持续优化,主要针对制造过程的工艺、工装和检验等环节进行规划并形成制造执行指令;优化与执行层实现生产线生产管控,包括排产优化、生产过程的集成控制、在线测量与质量管理以及物料的储运管理;网络与自动化层实现生产线自动化和智能化设备的运行控制、互联互通以及制造信息的感知和采集;基础平台的核心是提供基础数据的一致性管理,各层级系统间数据集成及设备自动化集成;使能技术指支撑智能生产线建设和智能化运行的使能基础技术;工业物联网技术是构建智能生产线网络化运行环境的关键,基于该技术构建的工业物联网实现产品、设备、工具的互联互通,并提供网络化的信息感知和实时运行监控

环境;大数据技术用于对制造过程产生的海量制造数据的提取、归纳、分析,形成一套知识发现机制,指导制造工艺和生产过程的持续优化;智能分析基于工艺知识、管控规则分析,监控来自工艺、生产和设备层级的问题,进行预测、诊断和优化决策。

### 智能生产线关键技术

智能制造的核心是信息物理融合(CPS)技术,其中的“信息”指算法、3D模型、仿真模型、工艺指令等能够通过网络访问和收集到的数据和信息,其中的“物理”指在生产系统中的人、自动化模块、物料等物理工具和设施。智能制造的目的就是要为制造系统构建完整的生产与信息的回路,使得制造系统具有自我学习、自我诊断、自主决策等智能化的行为和能力。

智能生产线将先进工艺技术、先进管理理念集成融合到生产过程,实现基于知识的工艺和生产过程全面优化、基于模型的产品全过程数字化制造以及基于信息流物流集成的智能化生产管控,以提高车间/生产线运行效率,提升产品质量稳定性。实施智能生产线,需要解决生产线规划、工艺优化、生产线智能管控、装备

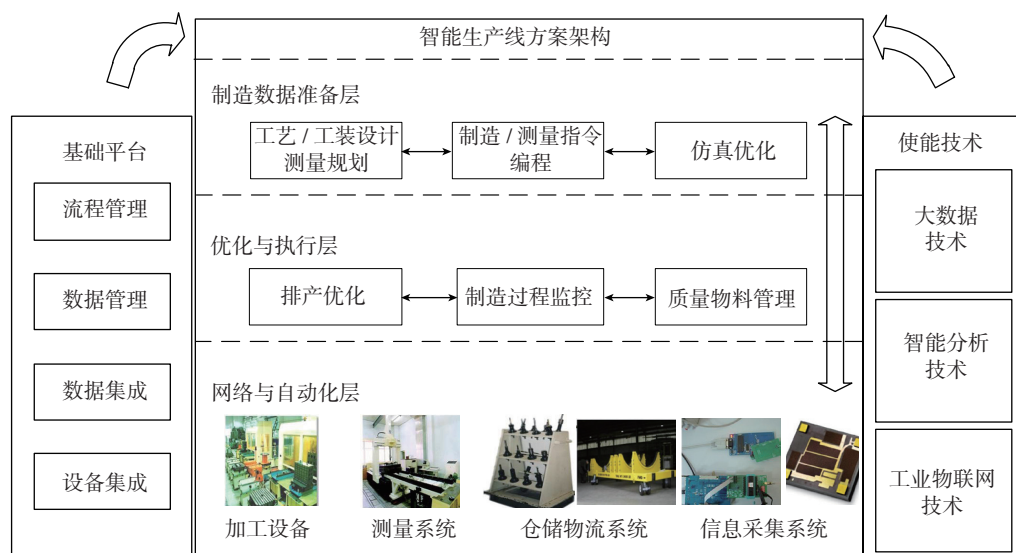


图1 智能生产线方案架构

智能化和生产线的智能维护保障等关键技术。

### 1 生产线建模仿真技术

生产线作为一种特殊的产品,也有自己的生命周期,包括设计规划、建设、运行维护和报废。其中生产线的设计规划直接关系到后续生产线的运行能效。在生产线规划时,应结合产品对象的工艺要求进行相关设备、物流及各种辅助设施的规划建模与模拟运行,对产品生产流程、每台设备的利用率、生产瓶颈等进行分析评估。生产线建模的细化程度、每道工序的时间估算、装夹等人力时间的计算以及物料工具的配送方式等都影响仿真评估的结果。

### 2 基于仿真计算和制造反馈的工艺设计技术

航空产品的加工和成形工艺复杂,工艺技术的改进及工艺参数的优化对于产品的制造精度和质量稳定性有决定性作用。在产品试制阶段进行工艺、工装、检验的规划设计时,大量工艺参数和变形补偿基于经验数据和工艺试验来确定,造成研制周期长、成本高昂、质量稳定性差等问题。究其原因,一方面,产品制造工艺过程的几何仿真及物理仿真技术还不能满足工程应用;另一方面,没有对制造过程的历史经验数据进行系统分析和提炼,工艺经验数据库和决策规则不成体系、碎片化,不足以支持工艺的智能化设计过程。基于经验知识、仿真计算和制造反馈的工艺设计技术,可提高工艺设计的精细化程度,降低人为因素的影响,实现工艺设计过程的规范程度和设计效率,并形成持续改进的工艺优化机制。

### 3 生产线的智能化管控技术

智能化生产线的运行具有柔性化、自适应、自决策等特点,生产线的智能化管控包括智能排产、物料工具的自动配送、制造指令的即时推送、制造过程数据的实时采集处理等。

支持智能化生产的决策规则的定义、决策依据的准确实时采集是智能化生产线正常运行的基础;基于生产线资源占用情况、生产计划的执行反馈情况以及生产计划调整而进行的动态化生产调度排产是保证生产线正常运行的前提。对于自动化程度较高的生产线,生产过程中人机的协同,如物料的配送、装夹、工序检验等这些可能的人工环节与设备自动化生产环节的协同与集成是保证准时生产的关键,而生产环节的防错及质量保证措施,在线检测的智能化、检测数据的实时准确采集处理等措施可以有效提升生产效率和质量。生产线智能管控系统除了要实现生产线物料、人员、设备、工具的集成运行与信息流、物流的融合,还要实现与车间级信息系统、企业级信息系统的信息交互与集成。

### 4 工艺装备的智能化技术

智能装备的特点是将专家的知识经验和融合到生产制造过程中。工艺装备不仅本身需要具备感知决策和精准执行能力,同时工艺装备的智能化集成应用水平也有着举足轻重的作用。深度感知是装备智能化的首要条件,基于感知信息的分析决策是体现装备智能化的关键,而支持分析决策过程的计算、推理、判断和人工智能技术、专家系统等密不可分;基于感知、决策、执行的闭环控制单元技术是信息物理系统的精髓。面向航空产品特定需求开发研制智能化工艺装备,需要在理清应用环境、产品对象、工艺特点等的基础上,针对性地研究传感器部署方案、感知数据的采集方案、分析决策机制的构架方法、反馈执行的精准和即时性等。

### 5 生产线的维护保障技术

先进的生产线维护保障技术是降低制造成本、增加效益的最直接、最有效的途径。对于集成度和产能要求更高的智能生产线,单点的故障

和意外停机有可能导致生产线的整体瘫痪,所以智能化维护技术是未来发展制造业的重要方向。生产线的维护保障包括针对单台设备的在线监测、故障诊断与预警,也包括针对生产线的整体运行情况的统计、分析、优化等。

与传统维护维修方法相比,智能维护是一种主动的按需监测维护模式,需要重点解决信息分析及性能衰减的智能预测及维护优化问题。因此,按需的远程监测维护机制和决策支持知识库是生产线维护保障的基础技术。

开展生产线维护保障技术的研究,除了降低运行故障率,同时也可以对生产线上每台设备的使用效率、生产线的瓶颈进行分析,达到提升生产线综合运行效率的目的。

## 结束语

实施智能生产线,需要在借鉴国外智能制造先进理念的基础上,结合我国航空制造业现状,深入开展中航特色的智能生产线体系架构和运行模式的研究。

航空智能生产线的建设既要有专业特色又要有一定的产品针对性,智能生产线的建设应以需求牵引,不能盲目追求全自动化和智能化。物料跟踪、适应性加工、拉式生产、在线检测、误差补偿、成形过程实时监控、生产和工艺优化、动态生产管控等将是智能生产线的建设重点,需根据实际情况有所侧重。

实施智能生产线应首先突破共性关键基础技术,在此基础上进行小范围示范应用,然后逐步推广。

## 参考文献

- [1] 乌尔里希·森德勒. 工业 4.0. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [2] 缪学勤. 解读“工业 4.0”智能工厂体系架构. [2014-04-24]. <http://www.gkong.com/item/news/2014/04/78779.html>.

(责编 谷雨)