

航空产品自动化机加线的探索与研究

张森堂,付 龙,马明阳,赵 恒,高 阳

(中国航发沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司,沈阳 110043)

[摘要] 智能制造是人工智能技术和制造技术相结合的产物,航空产品智能生产线是智能行为在自动化生产过程中的突出表现,推进智能生产线落地是一项复杂的系统工程,难以一蹴而就,更不能急于求成,其核心在于实现生产管控和制造过程等各个环节的关联化集成,满足过程、质量、设备、物料以及现场等各单元间的精细化集成管控。

关键词: 生产线; 自动化; 人工智能; 智能制造

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2016.16.036



张森堂

研究员级高级工程师,中航工业发动机数字化加工首席技术专家。现就职于中国航发黎明,专业从事数字化制造技术研究工作。主要研究方向为高效能数控加工工艺及装备,工艺优化方法及实施策略、虚拟加工技术、快速编程技术和三维数字化工艺设计技术。主持科研课题 20 余项,出版专著 2 部,发表论文多篇。

航空制造业作为机械加工和装配生产并存的高附加值离散制造业,由离散性制造向数字化制造发展一直是行业的重点方向。我国航空制造业经过多年发展,在信息化和工业化融合发展方面取得了长足进步,突破了产品三维设计、协同设计制造和数字化集成制造等多项关键技术,信息化系统得到了全面普及应用,但是与国际先进航空制造业相比尚有较大差距,高端工艺装备/工业软件对外依存度较高、产业基础相对薄弱等现实问题严重制约了我国航空制造业的发展。

智能制造致力于前沿、革命性制造技术的研发与产业化应用,融合了人工智能、工业机器人和现代生产管控技术,贯穿于工艺规划、加工制造、生产管控和运行维护等各个环节,可以显著缩短产品制造周期,降低产品不良率,提高资源综合利用率,形成辐射全行业的创新能力和竞争力,实现航空产品研制生产从模型空间到

物理空间的全面贯通。以智能制造驱动为主线,全新打造高度融合智能制造、智能管控的航空产品专业化生产线,成为航空制造业全面建立智能制造新模式,是推动制造转型升级和产业化创新的必然选择。

人工智能与制造技术

人工智能是一门研究、开发、模拟、延伸和扩展人的智能的理论方法及其应用系统的学科,是计算机科学领域的分支。人工智能的研究范畴涵盖机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理和专家系统等内容。人工智能研究的一个主要目标是使机器能够胜任一些通常需要人类智能才能完成的复杂工作。人工智能的具体表现是智能行为,并以个体行为或群体行为的方式来体现,个体行为通常以感知、判断、分析、学习、记忆等智能行为体现,群体行为则以适应、应变、协作等智能行为体现。

智能制造是人工智能技术和制

造技术相结合的产物,人工智能理论是智能制造的理论基础。目前,国内外对于各种专家系统和人工神经网络的研究为其在制造领域的应用提供了强有力的技术手段,并在柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)和计算机集成制造(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)中得到了广泛的应用。智能制造是一种由智能机器人和人类专家共同组成的人机一体化智能系统(如分析、推理、判断、构思和决策等)。通过人与智能机器的合作共事去扩大、延伸和部分地取代人类专家在制造过程中的脑力劳动,它把制造自动化的概念更新扩展到柔性化、智能化和高度集成化^[1-2]。

航空产品及其自动化制造

1 航空产品制造过程

航空产品制造过程通常包括生产工艺准备、生产作业、零件加工和生产管控等4个阶段,如图1所示。这些阶段,可以顺次完成,也可以并列完成。现代航空产品制造过程融合了PDM、ERP、MES等IT应用系统和CAD/CAM/CAE软件等应用工具,能够满足离散式生产模式的生产作业和生产管控需求,并初步实现了自动化排产、统计功能。

其中,生产工艺准备过程是航空

产品制造过程的核心,此阶段包括工艺性审查、工艺设计、配套工装设计和工艺反复迭代等多个环节,需要数量巨大、种类繁多的技术专家参与进行深入研究。一方面,技术进步引起了产品结构的复杂化,同时,也对产品的质量、可靠性、耐久性和经济性,以及相应的生产工艺准备,提出了越来越高的要求;另一方面,工艺过程的多样性、不断完善的程度,设备、工具和装置,生产组织方式,产品结构,以及其他一些因素,无形中也增加了生产工艺准备的工作量和复杂性,大幅度延长了生产工艺准备的周期。

2 航空产品的自动化生产

狭义的“产线自动化”,通常是指现场操作的生产加工过程自动化,对

现代企业而言,生产过程自动化是广义的自动化,是一种“无人值班的生产”状态,包括生产工艺准备、工具配送、物料传输、加工生产、生产管控和维护保障等在内的全部生产活动均可自动化,如图2所示。

航空产品因其自身的特殊性,生产过程多以中小批量为主,相比于刚性生产线,在柔性自动化机加线中,所要处理的是多种加工对象,故而生产信息频繁变化,生产管控的生产信息就显得格外重要,要想满足全部生产活动均可自动化这一要求,就必须使产品设计和生产计划过程均实现自动化。生产工艺准备的自动化由CAD/CAM/CAE来承担,加工过程由CNC或FMC承担,生产计划下

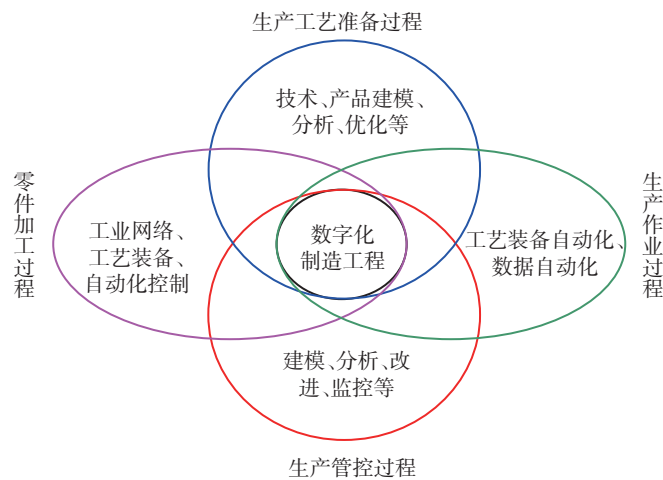


图1 航空产品制造过程

Fig.1 Manufacturing process of aviation products

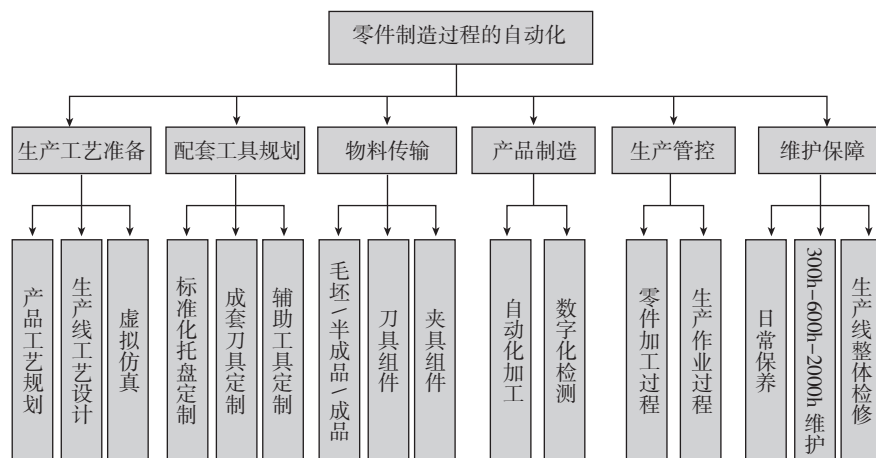


图2 零件制造过程的自动化

Fig.2 Manufacturing process automation of parts

达和生产作业执行的自动化需要通过生产管控系统承担,由生产管控系统指示每台机床、输送装置和仓库的工作,以及协调3者间的动作时间匹配。

3 自动化生产过程的智能化

融合智能制造行为的自动化机加线至少应包括3个维度的能力:一是理解、分析、解决问题的能力;二是归纳推理和演绎推理的能力;三是自适应环境而生存发展的能力。航空产品智能化生产包括两个层面,分别是生产工艺准备过程的智能化,加工生产过程的智能化。

(1) 生产工艺准备过程智能化。

国内外研发了多种虚拟仿真和先进分析软件工具,建模、仿真、分析、数据处理和决策优化等功能日趋完善,这些软件工具或为通用有限元分析软件(如 NASTRAN、ANSYS),或为专业仿真软件(如 AdvantEdge、Vericut),均不具备直接用于生产工艺准备过程的条件,必须经过客户化的特殊定制处理,才能满足生产工艺准备自动化、智能化的需求。

(2) 加工生产过程智能化。

航空产品的生产作业过程是将各种资源转化为最终产品的相关活动,在机加线中为计划调度和执行行为,即组合调度行为;零件加工过程是执行生产工艺的过程,即通过一定工序和方式将原材料、半成品转化为目标需求的过程的总称,主体是机床等工艺装备,核心是机床或工艺装备的加工或运行过程,在机加线中为工艺装备设备运行和工况处理的自主执行行为;生产管控过程是对生产运行管理工作的总称,在现代企业中是一项软件工程,是管理和监控行为,概括为感知识别、数据获取、自动推理3个行为,以上5个行为通过生产管控系统整合后构成自动化机加线的智能行为。

·组合调度。以机加线工艺为主线,根据设备的工作状态,按照设备

负荷平衡的原则,对作业计划、物料传输、工具配送、生产运行等过程进行优化排序,按均衡生产方式和“余度”设计准则进行组合调配控制。

·自主执行。将计划及调度的作业计划以动作链方式安排到设备,按照规定的顺序执行,同时监视加工零件及各设备的实时状态,并反馈到计划及调度,重新调度,以保障系统的稳定运行。

·感知识别。全面感知、监测机加线物料传输、机床加工、生产运行和产品状况的实时状态及信息反馈。

·数据获取。通过感知的手段获取动态数据,并对获取的实时运行状态数据进行及时、快速的分析,进而转化为动态知识。

·自动推理。按照设定的规则,根据分析结果,自主做出判断决策。

航空产品自动化机加线及其智能实现

1 航空产品自动化机加线总成规划

推进融合智能制造行为的航空产品自动化机加线是一项复杂而庞大的系统工程,是工业工程与信息技术、自动化技术与先进制造技术全面结合的产物,这是一个不断探索、试错的过程,难以一蹴而就,更不能急于求成,自动化机加线需综合考虑多方面因素的影响,核心在于实现生产管控和制造过程各个环节的关联化

集成。

生产线建设属于非标定制工程,需要将产品的加工工艺、工程师的经验及企业的工艺标准和业务流程等知识整体嵌入到同一集成的生产环境中,产线规划设计首要确定的是生产目标及纲领,完备的自动化机加线由3个部分组成:多工位加工单元、自动化的物料储运系统和计算机控制的信息系统。各组成系统的实际构成因工厂的实际生产状态、生产纲领及预计达到的技术指标而定,如图3所示。

(1) 加工系统。

考虑到航空产品大多为中小批量的特点,加工单元必须具备相当的柔性,因此,加工单元的机床群通常由具备复合加工功能的多台加工中心或柔性加工单元构成,在同一时间既可以生产同一类型产品,也可以同时生产不同类型、不同数量的产品。

(2) 物流系统。

物流系统包含工件的输送和储存两个方面,设计过程中按实际物料种类的不同,可分为工件流支持系统和刀具流支持系统。工件流支持系统主要完成工件、夹具、托盘、辅料及配件等在各个加工工位间及各个辅助工位间的输送,完成工件向加工设备间的输送与位姿交换。刀具流支持系统主要完成适时地向加工单元提供加工所需的刀具,取走已用过及

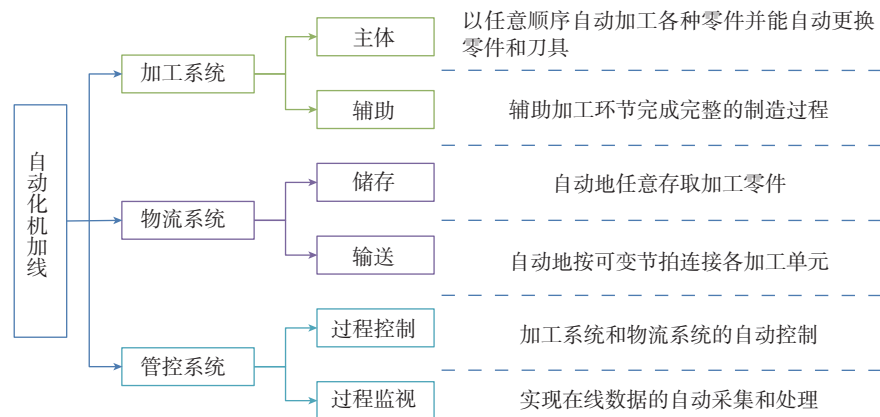


图3 自动化机加线总成
Fig.3 Assembly of automated machining lines

耐用度耗尽的刀具,运送过程中应保障物料流的畅通性及信息流的准确性。

(3) 信息系统。

信息系统的构成主要涉及过程控制及过程监视两个子系统,其功能分别为:进行加工系统及物流系统的自动控制,以及在线状态数据自动采集和处理,其主要任务是:组织和指挥制造流程进行控制和监视,向机加线的加工系统、物流系统提供全部控制信息并进行过程监视,反馈各种在线检测数据,以便修正控制信息,保证可靠安全地运行。

2 自动化机加线运行状况智能评估

自动化机加线的整体运行状况评估是多因素混合目标求解问题,需要借助生产线仿真工具来辅助分析决策,最终得到全局最优解。在产线布局规划之初,应根据产能、加工时长、生产节拍等产线指标要求进行布局结构的静态建模和全局运行的动态仿真。在虚拟环境下,对机加线的整体方案进行宏观把控,预测达产后的运行状况,实现对机加线规划的合理性、运行的顺流性、健壮性以及相应性能指标等的验证分析。机加线虚拟仿真主要涉及4个方面工作,如图4所示。

3 自动化机加线智能管控

在自动化机加线内,生产的管理和控制不可避免地受到产线机床、刀具、夹具及配套工艺装备的性能、数量以及工件加工程序的制约。整个自动化运行过程中,需要采取分级控制的原则,以实时监控、判断、掌握整个系统的工作状态,为保障这些生产活动的顺利进行,融入适当的智能行为可以使管控行为简单化,需要针对性地进行业务流程和制造物流整合、实施生产过程控制和动态实时监视。

(1) 业务流程整合。

统一的业务流程平台是将企业的PDM、ERP、MES等信息应用管理软件实行功能的整合和重组,避免因

相互独立运行导致的业务流程交叉、信息利用率低的隐患,建立高效的规范化流程,实现企业工程数据和管理数据的结构化管控,建立统一的智能制造标准体系和编码体系,实现设备间、系统间的互联互通及信息的高效传输,建立自动化的物料管理系统,实现物料消耗、实时库存量、生产订单间的关联匹配关系,最终形成贯通完备的智能IT网络,实现过程、质量、设备、物料以及现场等各单元间的精细化集成管控模式。

(2) 制造物流规划。

机加线的物流规划主要包括3个方面:一是原材料、半成品、成品所构成的工件流;二是刀具、夹具所构成的工具流;三是托盘、辅助材料、备件等所构成的配套流。其中,最主要的是工件、刀具等的流动,如

图5所示。不同于传统的刚性线和流水线,航空产品的机械加工机加线需解决非固定节拍强迫运送及非固定顺序的混流生产问题,理想状态下的物流系统,需借助辅助缓存和动态目标修正指令,弥合因工位加工时差带来的时间偏离,实现物料的存储、输送、装卸和管理等功能。

(3) 生产过程控制。

典型的机加线控制结构由物理级和控制决策级组成,如图6所示。机加线以事件的发生和停止为特征,并由事件支持整个系统的活动,对机加线的调度和控制就是对资源设备和加工对象的协调,通常情况科研生产模式下的加工流程是可变和可选择的,相应的生产过程控制需要满足两方面的功能需求,一是生产基本信息的管理,包括订单的创建和维护、

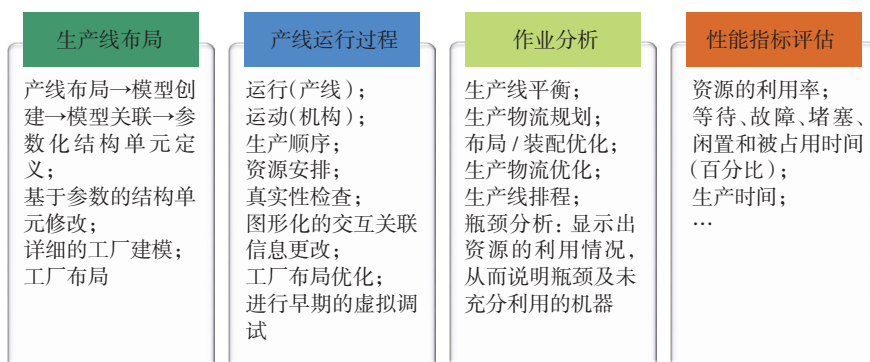


图4 机加线虚拟仿真

Fig.4 Virtual simulation of machining lines

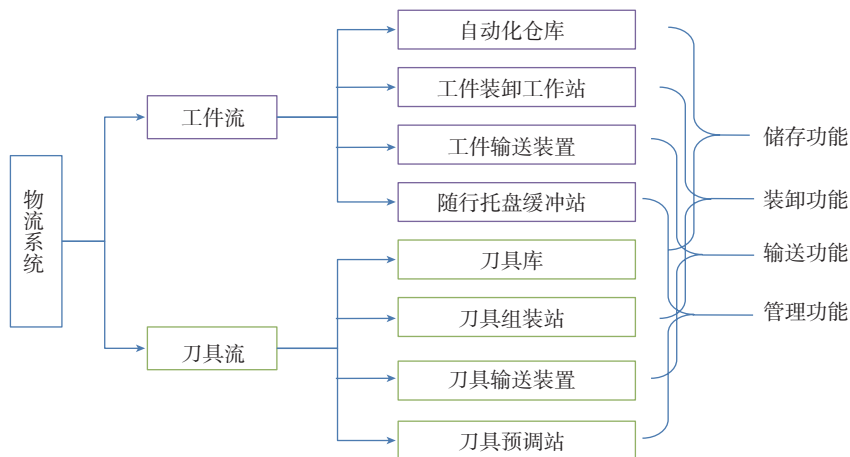


图5 机加线的物流规划

Fig.5 Logistics planning of machining lines

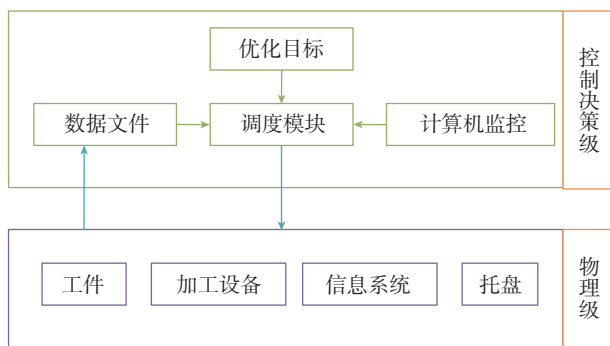


图6 机加线控制结构
Fig.6 Controlling structure of machining lines

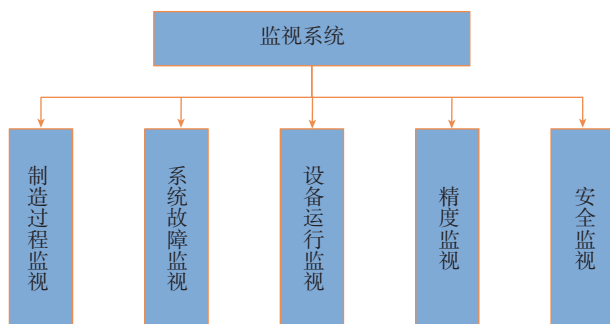


图7 机加线动态实时监视
Fig.7 Dynamic real-time monitoring of machining lines

生产批次管理、生产派工、工程变更管理、生产插单、订单进度跟踪等业务活动；二是动态的控制决策规划，实时分析生产计划和生产进度的匹配情况，并在异常情况发生时自动调整运行模式，降低生产变化对计划的影响和冲击，以此支撑多品种、小批量、工艺数据频繁变更的管理需求，实现生产计划、设计与现场生产的实

时联动。

(4) 动态实时监视。

完备的自动监视平台通过对制造过程、系统故障、设备运行、精度、安全等5方面的监视。依据生产过程中实时的反馈信息，可以帮助生产管理人员实时了解机加线的运行状态和生产作业的执行情况，并根据实际生产计划及时对机加线的运行程

序、生产工艺、物流方案等进行动态调整，避免因系统性偏差、精度下降、设备故障等因素对稳定生产的影响，同时丰富的实时采集数据，同样可以反馈给管控系统，为生产作业计划和物流调度的调整提供数据支持，如图7所示。

结束语

自动化机加线与智能制造的融合引发了新一轮制造业变革，航空产品智能化机加线属于工业工程领域，重点关注生产工艺准备过程和生产运行过程两个层面的智能化。随着航空产品不断发展的战略需求，急需整合、优化和提升企业现有资源，构建产品全生命周期、企业全业务流程、产业全价值链的“三全”技术能力货架，进一步推进智能机加线的建设步伐，促进航空制造业质量和效率的双向跃升。

参考文献

[1] 马履中. 机器人与柔性制造系统[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
MA Lüzhong. Robotics and flexible manufacturing systems[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2014.
[2] 刘延林. 柔性制造自动化概论[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2010.
LIU Yanlin. Introduction of flexible manufacturing automation[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2010.

Exploration and Research of Automation Machining Lines for Aviation Products

ZHANG Sentang, FU Long, MA Mingyang, ZHAO Heng, GAO Yang

(AECC Shenyang Liming Aero-Engine (Group) Corporation Ltd., Shenyang 110043, China)

[ABSTRACT] Intelligent manufacturing is the combination of artificial intelligence technology and manufacturing technology, intelligent production line of aviation products is the application of intelligent behavior in automated production process. It is a complicated system engineering to promote the implement of intelligent production line, and it is not easy to get successful. The core task is to realize integration of all aspects of production control and manufacturing process, and meet the refinement integration control of process, quality, equipment, materials, and scene.

Keywords: Production line; Automation; Artificial intelligence; Intelligent manufacturing

(责编 玲犀)