

航空智能工厂的基本特征与 框架体系

Basic Characteristics and Framework of the Intelligent Factory in Aviation Industry

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 杜宝瑞 王勃 赵璐 周元莉



杜宝瑞

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司副总工程师,研究员级高级工程师,硕士研究生导师。1992年毕业于北京航空航天大学飞行器制造工程专业,长期从事数字化制造技术研究与应用工作。主持、参与多项国家863计划、国家科技支撑计划和国防基础科研项目,发表论文10余篇。

航空工业处于制造业的尖端,目前呈现出多学科、边缘性、尖端性等特点。全新的航空工业采用先进生产模式、先进制造系统、先进制造技

智能制造是以智能加工与装配为核心的,同时覆盖面向智能加工与装配的设计、服务及管理等多个环节。智能工厂中的全部活动大致可以从产品设计、生产制造及供应链3个维度来描述。在这些维度中,如果所有的活动均能在赛博空间中得到充分的数据支持、过程优化与验证,同时在物理系统中能够实时地执行活动并与赛博空间进行深度交互,这样的工厂可称为智能工厂。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.08.026

术和先进组织管理方式,其主要特征和主要途径是加工过程的精密化、快速化,自动化技术的柔性化,以及整个制造过程的网络化、智能化。为了顺应飞机等武器装备制造业的发展趋势,满足未来国防军事的需求,长寿命、高可靠性和短周期已成为航空产品研发的基本指标。在此形势下,传统的航空制造企业组织模式与制造方法已难以满足航空工业发展的需求。近年来,随着德国工业4.0等与智能制造相关的概念被提出,各发达国家均把智能制造作为促进本国武器装备制造业创新发展的重要途径。

智能工厂(图1)是智能制造生态系统的核心,也是未来智能制造基础设施中的关键组成部分。在智能工厂中,赛博物理系统将人、数据、资源进行深入融合,使产品的制造过程得以全面优化,真正实现高能效、高柔性的智能制造。目前,西门子、戴姆勒、博世等著名的德国企业已投入巨资进行研发。美国GE公司也将在近年内投入15亿美金,用于工业互联网的开发,旨在实现数字世界与机器世界在制造过程中的深度融合。在航空领域,波音、洛克希德·马丁等世界先进航空制造企业在实施新的战略规划时,也高度重视智能工厂

的建设,认为其代表着未来航空工业制造技术和制造产业发展的新方向。

反观我国的航空制造企业,尽管在数字化、信息化等方面已取得了长足的进步,但仍存在大量的问题亟待解决。首先,企业的数字化、自动化水平仍然较低。这是导致产品质量不稳定,生产效率难以提升的重要原因。例如,波音公司早在20世纪90年代就已经提出MBD技术,并实现了全制造过程的数字化,而我国航空企业目前仅在产品定义阶段实现基于三维模型的产品定义,但在工艺设计、产品制造等环节仍主要沿用此前的纸质工艺规程。其次,各航空企业缺乏高效的生产流程管理手段。飞机产品的制造流程非常复杂,目前,对制造流程的管控仍然主要依赖于经验丰富的工人。这种工作方式难以综合考虑制造过程中的各种因素,难以保证生产线的流畅运转,容易导致各生产环节之间的产能失衡等问题。以数控机床的使用为例,我国企

业虽拥有当今世界上最先进的设备,也已掌握相当比例的先进操作技术,但设备综合利用率不足世界水平的一半,生产效率更低。最后,对制造过程无法形成闭环的管控。目前,各航空企业对加工过程中的具体数据并不能充分地利用,从车间、生产线中采集的数据大多仅用于显示与统计,而对于加工设备的实时数据则尚未做到实时采集,更未能实现基于这些数据的制造过程分析与优化。

上述问题在传统制造工厂中借助传统制造水平的提升难以突破,必须在智能制造思路的引领下,通过智能工厂的研究与建设加以解决。

智能工厂的基本特征

智能制造是以智能加工与装配为核心的,同时覆盖面向智能加工与装配的设计、服务及管理等多个环节。智能工厂中的全部活动大致可以从产品设计、生产制造及供应链3个维度来描述。在这些维度中,如果

所有的活动均能在赛博空间中得到充分的数据支持、过程优化与验证,同时在物理系统中能够实时地执行活动并与赛博空间进行深度交互,这样的工厂可称为智能工厂。

与传统的数字化工厂、自动化工厂相比,智能工厂具备以下几个突出特征。

1 制造系统的集成化

作为一个高层级的智能制造系统,智能工厂表现出鲜明的系统工程属性,具有自循环特性的各技术环节与单元按照功能需求组成不同规模、不同层级的系统,系统内的所有元素均是相互关联的。在智能工厂中,制造系统的集成主要体现在以下方面。

首先是企业数字化平台的集成。在智能工厂中,产品设计、工艺设计、工装设计与制造、零部件加工与装配、检测等各制造环节均是数字化的,各环节所需的软件系统均集成在同一数字化平台中,使整个制造流程完全基于单一模型驱动,避免了在制

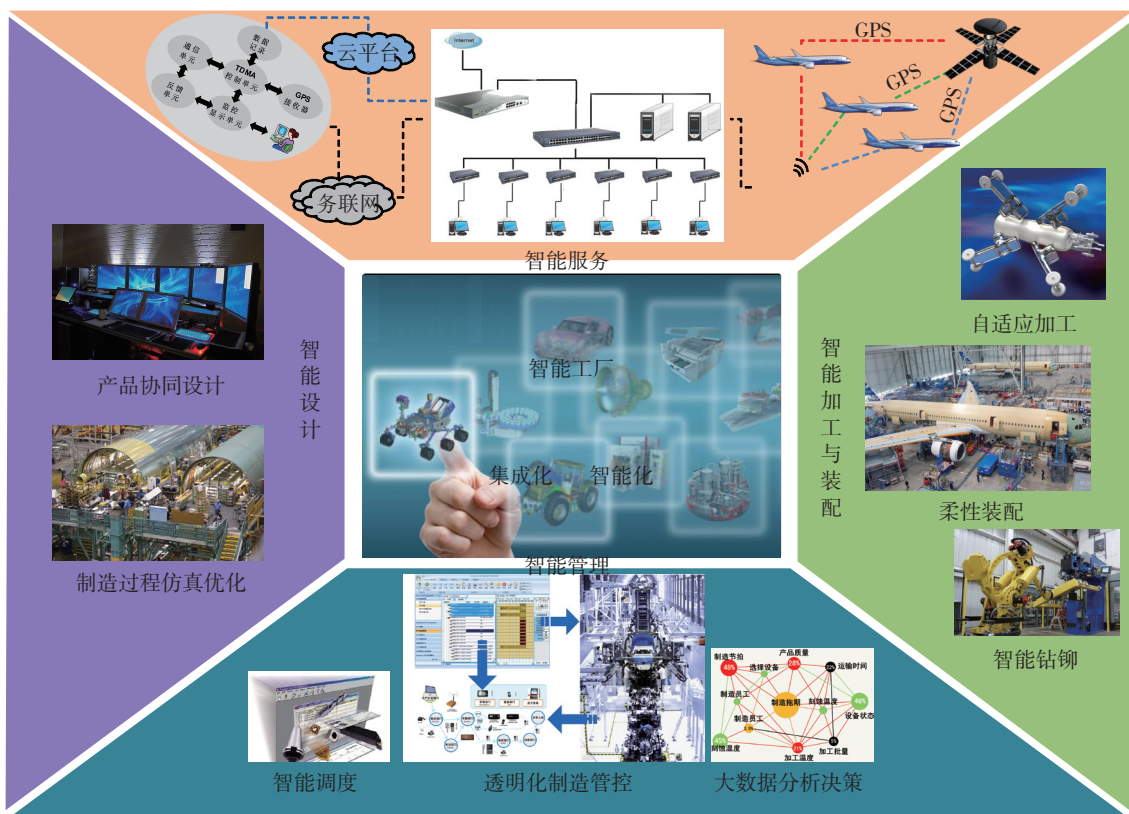


图1 智能工厂

造过程中因平台不统一而导致的数据转换等过程。

其次是虚拟工厂与真实制造现场的集成。基于全资源的虚拟制造工厂是智能工厂的重要组成部分,在产品生产之前,制造过程中所有的环节均在虚拟工厂中进行建模、仿真与验证。在制造过程中,虚拟工厂管控系统向制造现场传送制造指令,制造现场将加工数据实时反馈至管控系统,进而形成对制造过程的闭环管控。

2 决策过程的智能化

传统的人机交互中,作为决策主体的人支配“机器”的行为,而智能制造中的“机器”因部分拥有、拥有或扩展人类智能的能力,使人与“机器”共同组成决策主体,在同一信息物理系统中实施交互,信息量和种类以及交流的方法更加丰富,从而使人机交互与融合达到前所未有的深度。

制造业自动化的本质是人类在设备加工动作执行之前,将制造指令、逻辑判断准则等预先转换为设备可识别的代码并将其输入到制造设备中。此时,制造设备可根据代码自动执行制造动作,从而节省了此前在制造机械化过程中人类的劳动。在此过程中,人是决策过程的唯一主体,制造设备仅仅是根据输入的指令自动地执行制造过程,而并不具备如判断、思维等高级智能化的行为能力。在智能工厂中,“机器”具有不同程度的感知、分析与决策能力,它们与人共同构成决策主体。在“机器”的决策过程中,人类向制造设备输入决策规则,“机器”基于这些规则与制造数据自动执行决策过程,这样可将由人为因素造成的决策失误降至最低。与此同时,在决策过程中形成的知识可作为后续制造决策的原始依据,进而使决策知识库得到不断优化与拓展,从而不断提升智能制造系统的智能化水平。

3 加工过程的自动化

车间与生产线中的智能加工单元是工厂中产品制造的最终落脚点,智能决策过程中形成的加工指令全部将在加工单元中得以实现。为了能够准确、高效地执行制造指令,数字化、自动化、柔性化是智能制造单元的必备条件。首先,智能加工单元中的加工设备、检验设备、装夹设备、储运设备等均是基于单一数字化模型驱动的,这避免了传统加工中由于数据源不一致而带来的大量问题。其次,智能制造车间中的各种设备、物料等大量采用如条码、二维码、RFID等识别技术,使车间中的任何实体均具有唯一的身份标识,在物料装夹、储运等过程中,通过对这种身份的识别与匹配,实现了物料、加工设备、刀具、工装等的自动装夹与传输。最后,智能制造设备中大量引入智能传感技术,通过在制造设备中嵌入各类智能传感器,实时采集加工过程中机床的温度、振动、噪声、应力等制造数据,并采用大数据分析技术来实时控制设备的运行参数,使设备在加工过程中始终处于最优的效能状态,实现设备的自适应加工。例如,传统制造车间中往往存在由于地基沉降而造成的机床加工精度损失,通过在机床底脚上引入位置与应力传感器,即可检测到不同时段地基的沉降程度,据此,通过对机床底角的调整即可弥补该精度损失。此外,通过对设备运行数据的采集与分析,还可总结在长期运行过程中,设备加工精度的衰减规律、设备运行性能的演变规律等,通过对设备运行过程中各因素间的耦合关系进行分析,可提前预判设备运行的异常,并实现对设备健康状态的监控与故障预警。

4 服务过程的自动化

制造企业通过信息技术、网络化技术的应用,根据用户的地理位置、产品运行状态等信息,为用户提供产品在线支持、实时维护、健康监测等智能化功能。这种服务与传统的被

动服务不同,它能够通过对用户特征的分析,辨识用户的显性及隐性需求,主动为用户推送高价值的资讯与服务。此外,面向服务的制造将成为未来工厂建设中的一种趋势,集成广域服务资源的行业务联网将越来越智能化、专业化,企业对用户的服务将在很大程度上通过若干联盟企业间的并行协同实现。对用户而言,所体验到的服务的高效性与安全性也随之提升,这也是智能工厂服务过程的基本特点。智能工厂中的主动化服务如图2所示。

智能工厂的框架体系

智能工厂由赛博空间中的虚拟数字工厂和物理系统中的实体工厂共同构成。其中,实体工厂部署有大量的车间、生产线、加工装备等,为制造过程提供硬件基础设施与制造资源,也是实际制造流程的最终载体;虚拟数字工厂则是在这些制造资源以及制造流程的数字化模型基础上,在实体工厂的生产之前,对整个制造流程进行全面的建模与验证。为了实现实体工厂与虚拟数字工厂之间的通信与融合,实体工厂的各制造单元中还配备有大量的智能元器件,用于制造过程中的工况感知与制造数据采集。在虚拟制造过程中,智能决策与管理系统对制造过程进行不断的迭代优化,使制造流程达到最优;在实际制造中,智能决策与管理系统则对制造过程进行实时的监控与调整,进而使得制造过程体现出自适应、自优化等智能化特征。

由上述可知,智能工厂的基本框架体系中包括智能决策与管理系统、企业虚拟制造平台、智能制造车间等关键组成部分,如图3所示。

1 智能决策与管理系统

智能决策与管理系统如图4所示,是智能工厂的管控核心,负责市场分析、经营计划、物料采购、产品制造以及订单交付等各环节的管理与

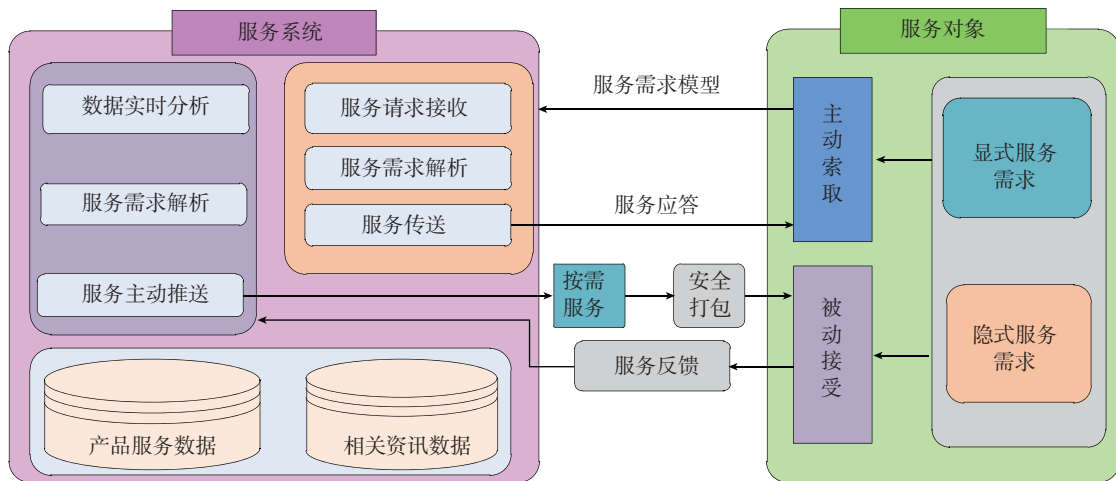


图2 智能工厂中的主动化服务

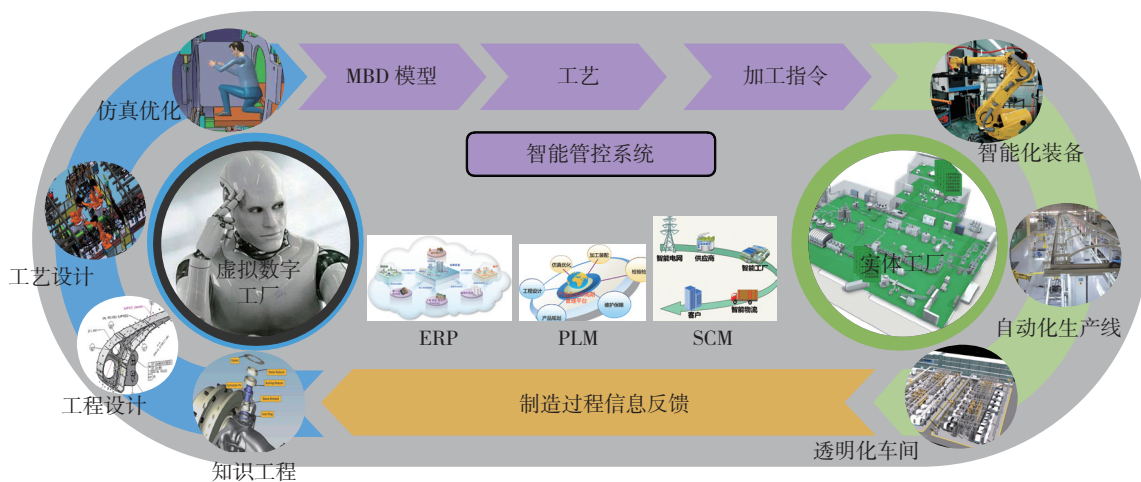


图3 智能工厂基本架构

决策。通过该系统,企业决策者能够掌握企业自身的生产能力、生产资源以及所生产的产品,能够调整产品的生产流程与工艺方法,并能够根据市场、客户需求等动态信息作出快速、智能的经营决策。

一般而言,智能决策与管理系统包含了企业资源计划(ERP)、产品全生命周期管理(PLM)、供应链管理(SCM)等一系列生产管理工具。在智能工厂中,这些系统工具的最突出特点在于:一方面能够向工厂管理者提供更加全面的生产数据以及更加有效的决策工具,相较于传统工厂,在解决企业产能、提升产品质量、降低生产成本等方面,能够发挥更加显著的作用;另一方面,这些系统工

具自身已达到了不同程度的智能化水平,在辅助工厂管理者进行决策的过程中,能够切实提升企业生产的灵活性,进而满足不同用户的差异化需求。

2 企业数字化制造平台

企业数字化制造平台需要解决的问题是如何在信息空间中对企业的经营决策、生产计划、制造过程等全部运行流程进行建模与仿真,并对企业的决策与制造活动的执行进行监控与优化。这其中的关键因素包括以下两点。

(1) 制造资源与流程的建模与仿真。

在建模过程中,需要着重考虑智能制造资源的3个要素,即实体、属

性和活动。实体可通俗地理解为智能工厂中的具体对象。属性是在仿真过程中实体所具备的各项有效特性。智能工厂中各实体之间相互作用而引起实体的属性发生变化,这种变化通常可用状态的概念来描述。智能制造资源通常会由于外界变化而受到影响。这种对系统的活动结果产生影响的外界因素可理解为制造资源所处的环境。在对智能制造资源进行建模与仿真时,需要考虑其所处的环境,并明确制造资源及其所处环境之间的边界。

(2) 建立虚拟平台与制造资源之间的关联。

通过对制造现场实时数据的采集与传输,制造现场可向虚拟平台实

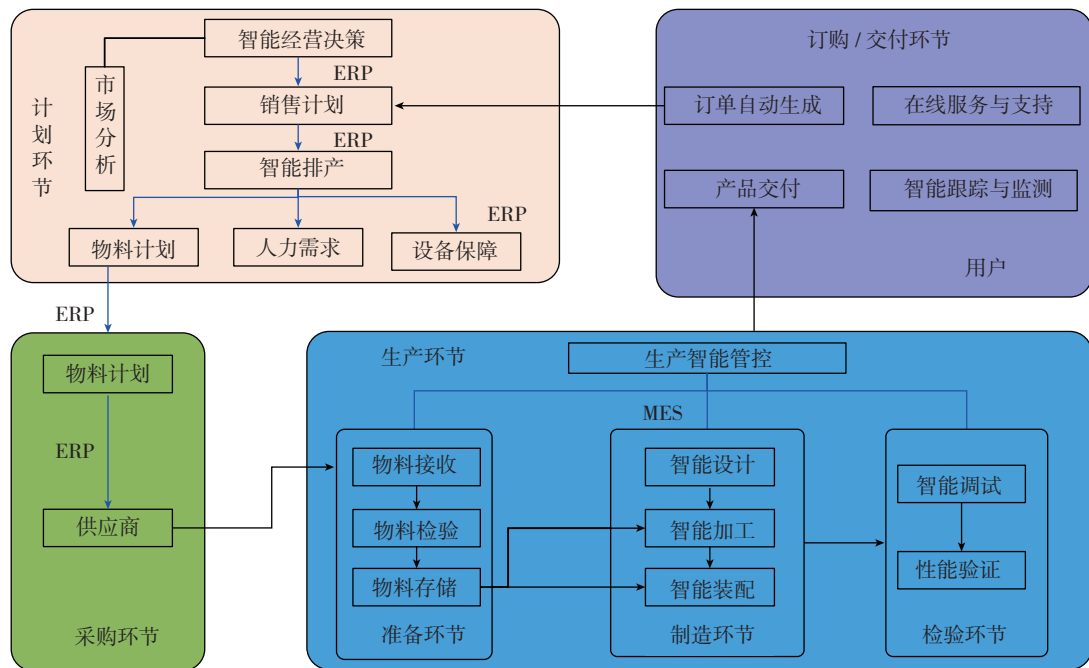


图4 智能决策与管理系统

时反馈生产状况。其中主要包括生产线、设备的运行状态,在制品的生产状态,过程中的质量状态,物料的供应状态等。在智能制造模式下,数据形式、种类、维度、精细程度等将是多元化的,因此,数据的采集、存储与反馈也需要与之相适应。

在智能制造模式下,产品的设计、加工与装配等各环节与传统的制造模式均存在明显不同。因此,企业数字化制造平台必须适应这些变化,从而满足智能制造的应用需求。

在面向智能制造的产品设计方面,企业数字化制造平台应提供以下两方面的功能:首先,能够将用户对产品的需求以及研发人员对产品的构想建成虚拟的产品模型,完成产品的功能性能优化,通过仿真分析在产品正式生产之前保证产品的功能性能满足要求,减少研制后期的技术风险;其次,能够支持建立满足智能加工与装配标准规范的产品全三维数字化定义,使产品信息不仅能被制造工程师所理解,还能够被各种智能化系统所接收,并被无任何歧义地理解,从而能够完成各类工艺、工装的

智能设计和调整,并驱动智能制造生产系统精确、高效、高质量地完成产品的加工与装配。

在智能加工与装配方面,传统制造中人、设备、加工资源等之间的信息交换并没有统一的标准,而数据交换的种类与方式通常是针对特定情况而专门定制的,这导致了制造过程中将出现大量的耦合,系统的灵活性受到极大的影响。例如,在数控程序编制过程中,工艺人员通常将加工程序指定到特定的机床中,由于不同机床所使用的数控系统不同,数控程序无法直接移植到其他机床中使用,若当前机床上被指定的零件过多,则容易出现被加工零件需要等待,而其他机床处于空闲状态的情况。

随着制造系统智能化程度的不断提升,智能加工与装配中的数据将是基于统一的模型,不再针对特定系统或特定设备,这些数据可被制造系统中的所有主体所识别,并能够通过自身的数据处理能力从中解析出具体的制造信息。例如,智能数控加工设备可能不再接收数控程序代码,而是直接接收具有加工信息的三维模

型,根据模型中定义的被加工需求,设备将自动生成最优化的加工程序。这样的优势在于:一方面,工艺设计人员不再需要指定特定机床,因此加工工艺数据具有通用性;另一方面,在机床内部生成的加工程序是最适合当前设备的加工代码,进而可以实现真正的自适应加工。

3 智能制造车间

智能制造车间及生产线是产品制造的物理空间,其中的智能制造单元及制造装备提供实际的加工能力。各智能制造单元间的协作与管控由智能管控及驱动系统实现。智能制造车间基本构成如图5所示。

(1) 车间中央管控系统。车间中央管控系统是智能加工与装配的核心环节,主要负责制造过程的智能调度、制造指令的智能生成与按需配送等任务。在制造过程的智能调度方面,需根据车间生产任务,综合分析车间内设备、工装、毛料等制造资源,按照工艺类型及生产计划等将生产任务实时分派到不同的生产线或制造单元,使制造过程中设备的利用率达到最高。在制造指令的智能生

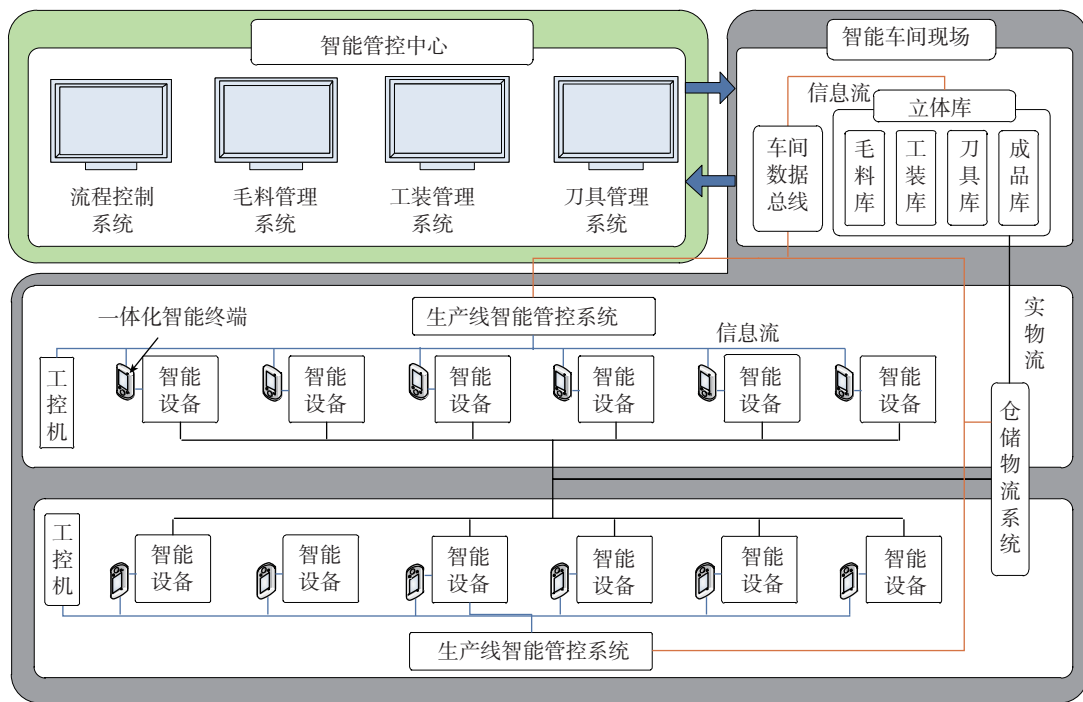


图5 智能制造车间基本构成

成与按需分配方面,面向车间内的生产线及生产设备,根据生产任务自动生成并优化相应的加工指令、检测指令、物料传送指令等,并根据具体要求将其推送至加工设备、检测装备、物流系统等。

(2) 智能生产线。智能生产线可实时存储、提取、分析与处理工艺、工装等各类制造数据,以及设备运行参数、运行状态等过程数据,并能够通过通过对数据的分析实时调整设备运行参数、监测设备健康状态等,并据此进行故障诊断、维护报警等行为,对于生产线内难以自动处理的情况,还可将其向上传递至车间中央管控系统。此外,生产线内不同的制造单元具有协同关系,可根据不同的生产需求对工装、毛料、刀具、加工方案等进行实时优化与重组,优化配置生产线内各生产资源。

(3) 智能制造装备。从逻辑构成的角度,智能制造装备由智能决策单元、总线接口、制造执行单元、数据存储单元、数据接口、人机交互接口以及其他辅助单元构成。其中,智能决策单元是智能设备的核心,负责设

备运行过程中的流程控制、运行参数计算以及设备检测维护等;总线接口负责接收车间总线中传输来的作业指令与数据,同时负责设备运行数据向车间总线的传送。制造执行单元由制造信息感知系统、制造指令执行系统以及制造质量测量系统等构成;数据存储单元用于存储制造过程数据以及制造过程决策知识;数据接口分布于智能设备的各个组成模块之间,用于封装、传送制造指令与数据;人机交互接口负责提供人与智能设备之间传递、交换信息的媒介和对话接口;辅助单元主要是指刀具库、一体化管控终端等。

(4) 仓储物流系统。智能制造车间中的仓储物流系统主要涉及到AGV/RGV系统、码垛机以及立体仓库等。AGV/RGV系统主要包括地面控制系统及车载控制系统。其中,地面控制系统与车间中央管控系统实现集成,主要负责任务分配、车辆管理、交通管理及通信管理等,车载控制系统负责AGV/RGV单机的导航、导引、路径选择、车辆驱动及装卸操作等。

码垛机的控制系统是码垛机研制中的关键。码垛机控制系统主要是通过模块化、层次化的控制软件来实现码垛机运动位置、姿态和轨迹、操作顺序及动作时间的控制,以及码垛机的故障诊断与安全维护等。

立体化仓库由仓库建筑体、货架、托盘系统、码垛机、托盘输送机系统、仓储管理与调度系统等组成。其中,仓储管理与调度系统是立体仓库的关键,主要负责仓储优化调度、物料出入库、库存管理等。

结束语

目前,我国航空工业面临着产品质量、成本和制造周期等压力。智能制造的出现,将为各航空制造企业在解决现有问题时提供一条全新的发展思路和技术途径。各航空制造企业应因循智能制造的思路,提前布局,统筹安排,积极推进航空领域智能制造关键技术的研究与应用,打造出一大批高度智能化、柔性化的车间与生产线,形成若干航空智能制造工厂,全面提升我国航空制造业的整体水平。(责编 叶枫)