

# 智能制造系统及其层级模型

## Intelligent Manufacturing System and Its Hierarchy Model

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 30 余篇。

### 智能制造与智能制造系统

智能制造的概念提出于 20 世纪 80 年代。近年来,随着数字化、信息化、网络化、自动化和人工智能技术等的发展,特别是德国工业 4.0、中国制造 2025 的推出,智能制造获得了快速发展的新契机,已成为现代先进制造业新的发展方向。未来,智能制造将以赛博物理系统为支撑,以人、机(智能制造装备)和资源的深度融

合为核心,成为一种高度自动化和柔性化的新型制造模式。

智能制造系统是指应用智能制造技术,达成全面或部分智能化的制造过程或组织,按照其技术成熟度与智能化发展水平的不同可分为若干个层级。任意层级的智能制造系统均表现出强烈的系统工程属性和良好的可拓展特性。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.13.046

合为核心,成为一种高度自动化和柔性化的新型制造模式。

智能制造系统是指应用智能制造技术,达成全面或部分智能化的制造过程或组织,按照其技术成熟度与智能化发展水平的不同可分为若干个层级。任意层级的智能制造系统均表现出强烈的系统工程属性和良好的可拓展特性。

首先,智能制造系统中的所有要素均处于同一赛博物理空间,完备的赛博空间与全自动化的物理系统深度交融;同时,人作为智能制造系统的重要因素,与系统中其他因素间的交互方法与交互信息量也获得了极大的丰富。这些大量、深度而有序的信息交互使得制造系统中的各因素相互依托,共同构成具有自循环、自优化特性的制造环节。

其次,基于开放平台架构的智能

制造系统提供了良好的系统集成与拓展功能。若干低层级的智能制造系统、辅助制造装备以及附着于其上的应用系统共同构成高层级的智能制造系统,并最终构成统一的智能制造生态环境。

### 智能制造系统层级划分

根据制造技术的一般发展规律,在智能制造系统的发展过程中,通常是在智能装备层面上的单个技术点首先实现智能化突破,然后出现面向智能装备的组线技术,并逐渐形成高度自动化与柔性化的智能生产线。在此基础上,当面向多条生产线的车间中央管控、智能调度等技术成熟之后,才可形成智能车间。由此可见,智能制造系统的发展是由低层级向高层级逐步演进的,而在不同的发展阶段,制造系统的智能化水平均表现

出其独有的特征。

智能制造系统的水平主要从系统的技术基础、实施规模等方面进行评定,主要划分为装备级、生产线级、车间级、工厂级以及联盟级5个层级(见图1)。智能制造装备中包含了若干具有一定感知、分析、决策能力的基本逻辑结构,并能实现相对完整的智能制造活动,智能制造装备除包含装备本体外,还包括嵌入装备中的软件系统以及与之协作的配套设施;智能生产线将若干智能制造装备从物理与逻辑上进行关联,并通过生产线的自动化系统实现各制造装备的协作;智能车间则是由若干条智能生产线以及车间层级的智能决策系统、仓储物流系统等构成;若干智能车间构成了智能工厂的实际生产能力,此外,智能工厂还包括经营决策系统、采购系统、订购与交付系统等;若干智能工厂共同构成智能联盟,这种制造联盟将是动态的、灵活的,可充分集成各智能工厂的优势资源,实现生产过程的异地协同。

### 1 智能制造装备

智能制造装备能够对其制造过程进行智能辅助决策、自动感知、智能监测、智能调节和智能维护,从而支持制造过程的高效、优质和低耗的多目标优化运行。支撑智能制造装备的技术体系可分为3个部分,即智能基础元器件、智能数控系统以及智能制造应用技术。

具备工况感知与智能识别技术的智能基础元器件是制造装备实现智能的前提。智能制造设备嵌入了各种类型的传感器,如直线光栅尺、旋转光栅尺、温度热电偶、振动/力传感器、声发射传感器等,这些传感器能够实时采集加工过程中的振动、温度、切削力等制造数据,并将这些数据传送至数控系统。目前,智能传感器在重型数控机床的力、热误差检测与补偿等方面已经取得了良好的应用。

智能数控系统主要负责设备的自主分析和智能决策。其接收智能传感器采集到的数据,通过对数据的分析实时控制与调整设备的运行参数,使设备在加工过程中始终处于最佳的效能状态,实现设备的自适应加工。同时,通过传感器对设备运行数据的采集与分析,还可以实现对设备健康状态的监控与故障预警。智能数控系统的技术体系主要包括开放式软硬件系统平台,大数据采集、传输与存储平台,以及云计算与云平台系统。其中,开放式软硬件系统能够支持对各种类型元器件的控制,使得制造设备具有更多的硬件选择;软件系统基于开放式体系架构,在运动控制、逻辑控制等方面均具有良好的二次开发接口,便于第三方智能应用程序的开发。大数据采集、传输与存储平台能够实时从设备中提取其运行数据,运行数据一方面包含机床内

部的主轴转速、进给量、加工质量等数据,还包含嵌入传感器所采集的数据,如振动、切削力、加速度等。云计算与云服务平台基于计算资源虚拟化的技术,使得单台智能设备的计算能力获得了无限提升。对于比较复杂、实时性要求不高的智能化计算任务,可以将其直接部署到云端服务器中,达到充分利用服务器高性能计算能力的目的。这种分布式计算通过“任务分解和结果合并”,使得计算负载均衡,数据处理同步。

在智能数控系统的基础上,可以根据需求开发出各种智能化应用程序。这些智能化应用程序嵌入到数控系统中,能够充分发挥设备的最佳效能,提升产品制造质量,并实现设备的健康监控与故障诊断等。例如,在机床的加工过程中,通过采集系统的跟踪误差、振动、电流等数据,建立加工指令与加工状态之间的映射关

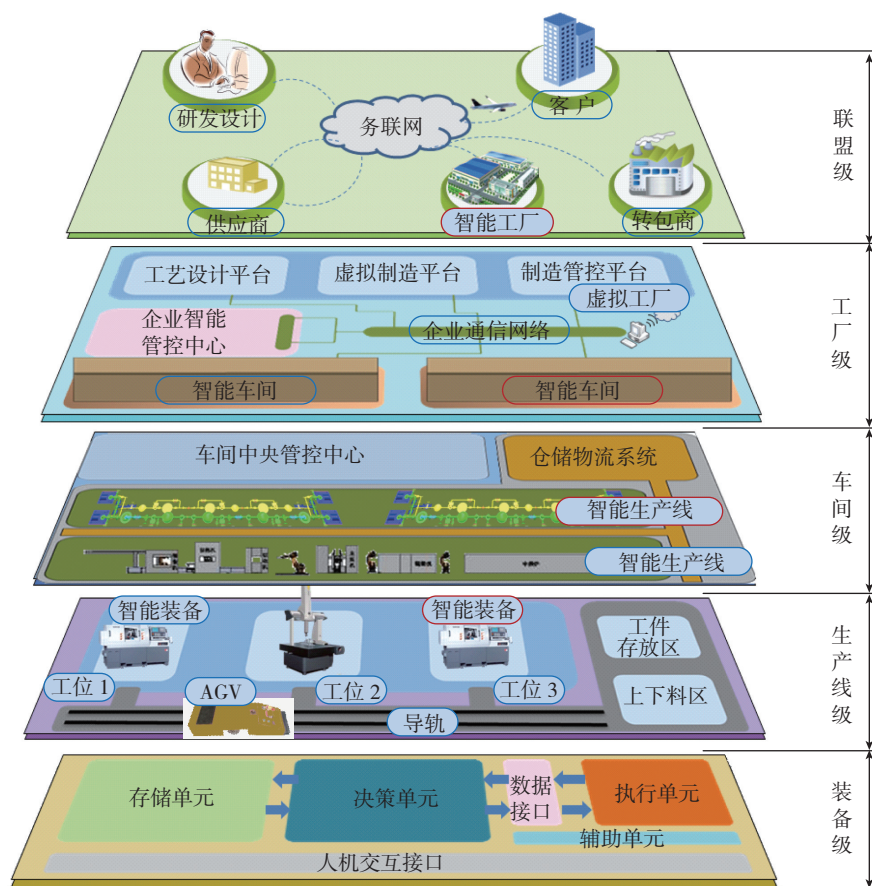


图1 智能制造系统层级模型

系,实现对加工代码中加工参数、机床参数等的调整,从而达到提高加工效率与质量的目的。

## 2 智能生产线

智能生产线是在专业化与自动化生产线的基础上,将大量的智能设备、智能元器件应用于产品加工关键环节,在其他生产活动环节采用智能识别、自动搬运与装夹等技术,实现物料、加工设备、刀具、工装等的自动识别、匹配与装夹(见图2)。这不仅提升智能设备的利用率,使其充分发挥其功能,而且还使整条生产线具有柔性,能够快速地按需要生产出不同类型的产品。智能生产线除了加工与物流配送的自动化外,还具有智能管控能力,能够根据生产任务与设备、原材料、工装等资源情况,优化生产作业计划,形成自主决策的工作指令。

智能生产线通常由集成控制系统、物料传输系统、工件存储系统、加工单元与其他外围防护等部分组成。根据产品加工工艺的不同,生产线可采用直线式布局、环形布局以及U形布局。

集成控制系统主要包括生产管理系统、网络化检测系统以及物流控制系统等。生产管理系统接收由车间中央管控中心传来的生产任务,制定出生产线的作业计划,并向加工设备、物料系统等发送制造指令与制造数据。此外,生产管理系统还以可视的形式,实现对生产线计划调度、运行状态、生产进度、质量信息、设备信息等与生产线运行相关信息的全面管理;网络化检测系统通过大量采用二维码、RFID(射频识别)等识

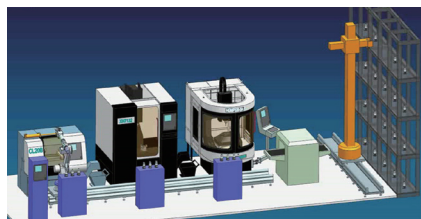


图2 智能生产线

别技术,在物料配送与机床运行过程中,通过扫描二维码或借助RFID技术对物流的运行状态、必要的位置信息、机床运行数据等进行实时监测。

物料传输系统包括输送轨道、AGV/RGV系统、移动工作台的交换动力装置等。物料传输系统主要完成各工序间的移动工作台的自动传送、调运等工作。AGV/RGV系统中主要包括自动小车、车载控制系统、地面控制系统以及导航系统。其中,地面控制系统是AGV系统的核心,主要需要解决任务分配、车辆管理、交通管理、通信管理等问题。车载控制系统需要负责自动小车单机的导航、路径选择、车辆驱动、装卸操作等。目前的导航技术主要包括直接坐标导引技术、电磁导引技术、光学导引技术、惯性导航技术及GPS导航技术等。

工件存储系统主要包括上下料站区、工件缓冲区等。上下料站区主要由上下料交换台组成。考虑到工人操作的安全性,人工上下料区应独立于物料小车的自动上下料区域;工件缓存区主要是为了满足生产线在一定时间内无人值守的需求,同时也实现零件在不同工序之间传送的缓冲。自动小车在工件存储区与机床工作台之间完成物料的自动装卸和传输,根据上下料的需求,自动小车上配有相应的自动上下料机构。

## 3 智能车间

智能车间包含各种不同种类的智能设备以及各种不同形态的生产线(见图3),为了使这些智能装备、智能化生产线发挥最佳的效能,智能车间中有两个方面尤为重要,一是车间的软硬件基础设施;二是车间的智能管控系统。

软硬件基础设施是这些智能装备、生产线之间畅通的数据传递、物料传输的基础条件,包括硬件设施以及软件环境两大类。在硬件设施方面,智能车间中首先需要根据车间中

产品、工艺流程的特点,综合物流传输、工件存放等因素,做出合理的车间布局;其次,各种设备、工装、物料应遵循统一的机械、电气接口标准。在软件方面,智能车间中需要搭建数据传输总线,对于不同形式、不同来源的数据,需要建立统一、高效的数据交换协议与数据接口,进而明确各种数据的封装、传输与解析方法,实现车间中各智能实体之间的信息传递。通过软硬件环境的建设,车间中的各智能体实现互联互通,并使新的智能加工单元可实现插拔式接入。

车间中央管控系统是智能车间最核心的组成部分。中央管控系统全面负责车间中的制造流程、仓储物流、毛料与工装等的管理,其中制造过程的智能调度以及制造指令的智能生成与按需配送是车间中央管控系统的重要职能。中央管控系统面向生产任务,通过对生产线加工能力与产品工艺特性的综合分析,实现生产任务的均衡配置。同时,通过对生产线运行状态、设备加工能力等的分析,自动生成制造指令,并基于此对工件、物料等制造资源进行实时按需调配,从而使设备的综合利用率获得大幅提升。

在传统的加工过程中,工件与加工设备的匹配是在工艺设计过程中决定的,即在工艺设计过程中就为工件指定了唯一的加工设备。然而,在实际加工过程中,常出现已指定的机床处于占用状态的情况,此时无论其他机床是否具备加工能力,是否处于空闲状态,当前零件必须等待当前设备加工完毕才能开始加工。此外,由于加工设备是由人工凭经验指定的,为了避免对机床造成破坏,工艺设计人员倾向于选择较为保守的加工参数,高性能机床长期处于低效运转的状态,其加工能力无法完全发挥,这样也从另一方面导致了加工效率的降低。在智能加工车间中,零件所需的加工设备是由中央管控系统根据



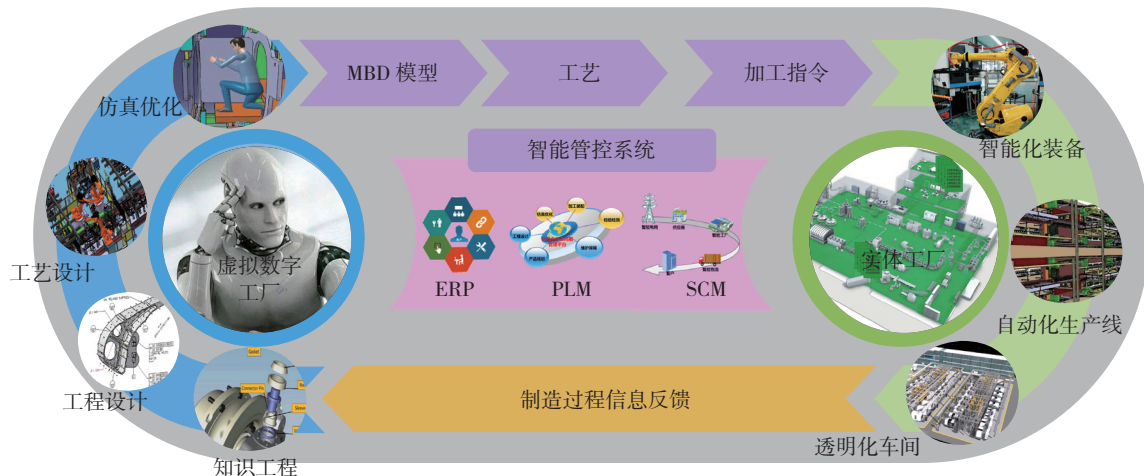


图4 智能工厂基本架构

地域、跨行业的协同,实现资源共享,密切协作。随着赛博物理系统、工业互联网、物联网与务联网等一系列概念的提出,业界对智能联盟的认识也逐渐清晰。

智能联盟以物联网和务联网为依托,成员企业具有独特性、分散性、动态性等特点,而联盟的运作具有灵活性、动态性等特点。目前来看,智能制造联盟的运作模式包括供应链式、插入兼容式以及虚拟合作、合资经营式、转包加工式等多种模式。

在智能联盟中,首先需要解决的就是联盟企业之间的协同问题。智能联盟协作平台不仅应支持单个企

业内部的物料、资源和信息的管理,更重要的是能够支持企业之间业务的协同,进而实现在全价值链中的端到端集成。目前,波音、GE等先进制造企业均对智能企业联盟进行了深入的研究,这种全新的企业组织模式正在促进制造领域的结构变革和商业模式的转变。

### 结束语

近年来,我国针对智能制造的研究刚刚起步,智能制造所需的技术基础较为薄弱,各制造企业对于智能制造普遍存在着认识不足、经验缺乏、缺乏统筹规划和综合协调等问题。

此外,各不同制造企业的技术基础水平之间存在明显的差异,在发展智能制造的过程中,企业自身对智能制造的发展需求、发展方向和重点,以及发展路径均不尽相同。

本文提出了智能制造系统的层级模型,并详细介绍了各层级的基本结构和技术特征。各制造企业可以依据自己的产品特点和不同的组织形式,参考层级模型,判断本单位现有的制造技术水平,明确智能制造发展的需求,确定发展目标、方向和重点,找准发展路径。在夯实技术基础的条件下,调配资源,重点突破,逐步提高智能制造的层级。(责编 玲犀)

(上接第45页)

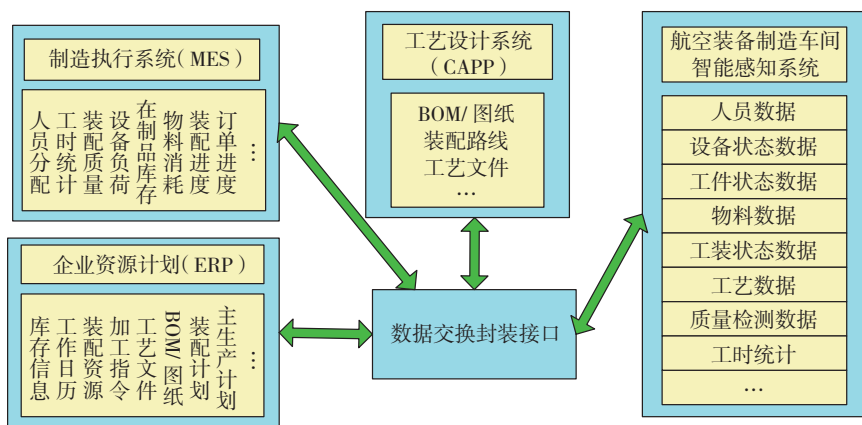


图7 飞机装配车间数字化平台集成

力。飞机智能装配技术的应用,对打造高度智能化、柔性化的飞机智能装

配车间,建立航空智能制造工厂,全面提升航空制造业的整体水平具有

重要的意义。

### 参考文献

- [1] 杜宝瑞,王勃,赵璐,等.航空智能工厂的基本特征与框架体系.航空制造技术,2015(8):26-31.
- [2] 姚艳彬,邹方,刘华东.飞机智能装配技术.航空制造技术,2014(23):57-59.
- [3] 姚锡凡,于森,陈勇,等.制造物联网的内涵、体系结构和关键技术.计算机集成制造系统,2014,20(1):1-10.
- [4] 蔡敏,卢佩,陶俐言.面向复杂产品的数字化装配系统体系结构.计算机集成制造系统,2013,19(11):2757-2764.
- [5] 李伯虎,张霖,任磊,等.再论云制造.计算机集成制造系统,2011,17(3):449-457.

(责编 谷雨)