

飞机装配智能制造体系构建及关键技术*

Aircraft Intelligent Assembly Manufacture System Construction and Its Key Technology

中航工业江西洪都航空工业集团有限责任公司 宋利康 郑堂介
南京航空航天大学机电学院 黄少华 郭宇
南昌航空大学航空制造工程学院 朱永国



宋利康

工学博士,研究员级高工,中航工业江西洪都航空工业集团有限责任公司副总工程师、中国航空工业集团公司特级专家。江西省制造业信息化专家组组长、江西省计算机学会副理事长、江西省工程图学学会副理事长、南昌航空大学兼职教授。从事飞机研制数字化技术研究,曾任 L15 飞机型号总信息师,先后主持国家 863 计划、国防基础科研等项目,获多项省部级成果,2014 年获“2014 全国百佳首席信息官”称号。

飞机装配智能制造是将物联网、大数据、云计算、人工智能等技术引入到飞机装配的设计、生产、管理和服务中。建立飞机智能装配体系,将有效提升飞机装配系统的自感知、自诊断、自优化、自决策和自执行能力。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。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.13.040

进入信息化时代,新型传感技术、网络技术、自动化技术、人工智能技术等先进技术的发展不断推动着制造业生产方式的变革,以数字化为基础的智能制造模式应运而生,也催生了以信息和知识为代表的新一代生产力,成为促进现代制造技术快速发展的关键因素和重要力量。

2013 年 4 月,德国政府在汉诺威工业博览会上推出的“工业 4.0”标志着新一轮工业革命的到来。德国定义的第四次工业革命是基于信息化的自动化生产,其实质是通过信息技术和制造技术深度融合使得自感知、自诊断、自优化、自决策、自执行的高度柔性生产方式成为可能。“工

业 4.0”提出以信息物理系统(Cyber-Physical System)为基础的 3 大主题:“智能工厂”、“智能生产”和“智能物流”,其目的就是实现制造过程的智能化。而无论是德国的“工业 4.0”,还是美国的“再工业化”、日本的“智能制造系统 IMS”、欧盟的“IMS 2020 计划”,甚至我国提出的“中国制造 2025”,这些战略都告诉我们:随着新一轮工业革命的到来,智能制造已成为全球制造业的发展趋势。

以飞机制造为代表的航空制造业是国家工业的尖端产业,具有技术密集度高、产业关联范围广、辐射带动效应大等特点,是国家工业发展、科技能力以及国防水平的重要标志

* 基金项目:国家科技支撑计划(2013BAF02B00),江西省科技支撑计划(CB201304085,20143ACE50008),江西省自然科学基金(20142BAB206023),江西省教育厅基金(GJJ14538)。

和综合体现。对于飞机装配过程而言,由于其高复杂性和高精度的特点及其高质量和低周期的研制目标,对智能制造技术的应用需求已十分迫切,研究飞机装配智能制造技术必将对飞机装配水平的提升以及航空制造业的创新发展起到重要的推动作用。

智能制造特征分析

智能制造基于传感技术、网络技术、自动化技术、人工智能技术等先进技术,通过智能化的感知、人机交互、决策和执行,实现产品设计、生产、管理、服务等制造活动的智能化,是信息技术、智能技术与装备制造技术的深度融合与集成^[1]。智能制造具有状态感知、实时分析、自主决策、高度集成和精准执行等特征。

1 状态感知

对制造车间人员、设备、工装、物料、刀具、量具等多类制造要素进行全面感知,完成制造过程中的物与物、物与人及人与人之间的广泛关联,是实现智能制造的基础。针对要采集的多源制造数据,通过配置各类传感器和无线网络,实现物理制造资源的互联、互感,从而确保制造过程多源信息的实时、精确和可靠获取,智能制造系统的感知互联覆盖全部制造资源以及制造活动全过程。

2 实时分析

制造数据是进行一切决策活动和控制行为的来源和依据。基于制造过程感知技术获得各类制造数据,对制造过程中的海量数据进行实时检测、实时传输与分发、实时处理与融合等是数据可视化和数据服务的前提。因此,对制造数据进行实时分析,将多源、异构、分散的车间现场数据转化为可用于精准执行和智能决策的可视化制造信息,是智能制造的重要组成部分,对制造过程的自主决策及精准控制起着决定性的作用。

3 自主决策

“智能”是知识和智力的总和,知识是实现智能的基础,智力是获取和运用知识求解的能力。智能制造不仅仅是利用现有的知识库指导制造行为,同时具有自学习功能,能够在制造过程中不断地充实制造知识库,更重要的是还有搜集与理解制造环境信息和制造系统本身的信息,并自行分析判断和规划自身行为的能力。在传统的制造系统中,人作为决策智能体具有支配各类“制造资源”的制造行为,制造设备、工装等并不具备分析、推理、判断、构思和决策等高级的行为能力。而智能制造系统是一种由智能机器人和人类专家共同组成的人机一体化系统,其“制造资源”具有不同程度的感知、分析与决策功能,能够拥有或扩展人类智能,使人与物共同组成决策主体,促使信息物理融合系统中实现更深层次的人机交互与融合。

4 高度集成

在实现制造业自动化、数字化和信息化的过程中,集成已成为制造系统重要的表现形式,涵盖了硬件设备和控制软件的集成、研发设计和制造的集成、管理和控制的集成、产供销的集成以及 PDM/ERP/CAPP/MES 等企业信息系统的综合集成。对于智能制造而言,集成的覆盖面更加广泛,不仅包括制造过程硬件资源间的集成、软件信息系统的集成,还包括面向产品研发、设计、生产、制造、运营、管理、服务等产品全生命周期所有环节的集成,以及产品制造过程中所有的行为活动、实时的制造数据、丰富的制造知识之间的集成。智能制造将所有分离的制造资源、功能和信息等集成到相互关联的、统一和协调的系统之中,使所有资源、数据、知识达到充分共享,实现集中、高效、便利的管理。

5 精准执行

制造活动的精准执行是实现智能制造的最终落脚点,车间制造资源

的互联感知、海量制造数据的实时采集分析、制造过程中的自主决策都是为实现智能执行服务的。数字化、自动化、柔性化的智能加工设备、测试设备、装夹设备、储运设备是制造执行的基础条件和设施^[2],通过传感器、RFID 等获取的制造过程实时数据是制造精准执行的来源和依据,设备运行的监测控制、制造过程的调度优化、生产物料的准确配送、产品质量的实时检测等是制造的表现形式。制造过程的精准执行是使制造过程以及制造系统处于最优效能状态的保障,也是实现智能制造的重要体现。

飞机装配智能制造体系构建

针对飞机装配具有的装配工艺复杂、零部件数量众多、装配质量和精度要求高等特点及其推进精益生产的需求,飞机智能装配技术主要侧重于面向飞机装配智能车间的应用系统和智能装配工具的开发和集成,以解决飞机装配过程数字化与自动化程度低、车间管理技术手段落后等问题。

以物联网、人工智能、大数据、云计算、计算机仿真以及网络安全等关键共性技术作为支撑技术,提供飞机装配过程中的智能装配设备、制造要素动态组网、制造信息实时采集与管理、飞机装配过程自主决策与执行优化的集成方案,解决面向飞机装配过程的智能技术应用集成问题,形成可扩展、可配置的“飞机智能装配”应用系统,实现飞机装配过程和管理自动化、数字化与可视化,从价值链、企业层、车间层和设备层 4 个层面。提升航空装备制造系统的状态感知、实时分析、自主决策和精准执行水平,为航空制造业推进智能制造技术奠定坚实的技术基础。面向飞机装配的智能制造体系如图 1 所示,主要由关键技术支撑层、智能设备载体层、数据采集分析层、制造执行与

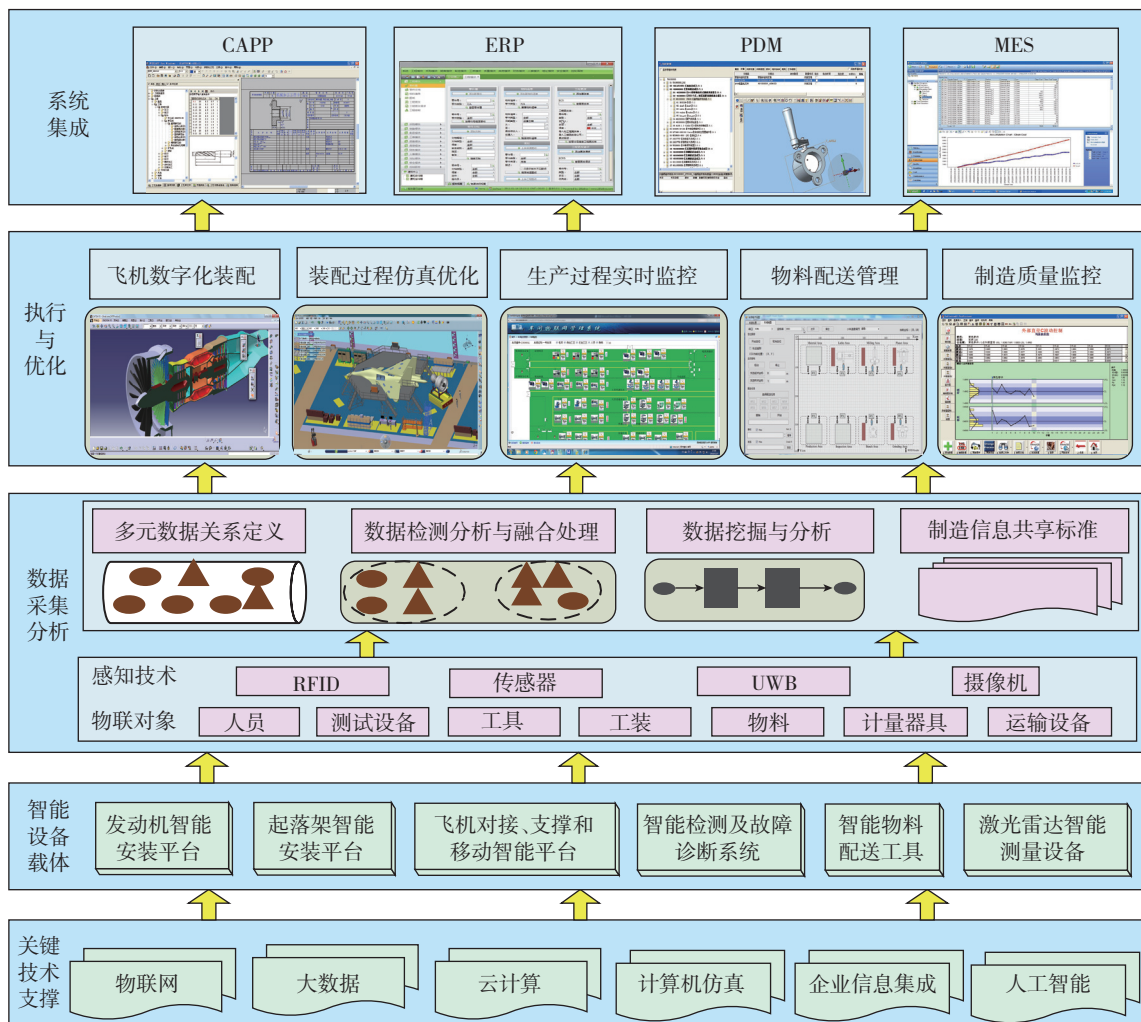


图1 飞机装配智能制造体系架构

优化层和企业信息系统集成层构成。

1 智能设备载体层

智能设备载体层包括飞机智能对接平台、智能牵引及支撑平台、智能发动机安装平台、智能座椅安装平台、智能起落架安装平台、智能检测及故障诊断系统、智能工具管理系统、智能物料配送系统和激光雷达测量系统等,为飞机的智能装配、智能测量、智能管理等提供必备设施,是飞机智能装配的硬件载体。

2 数据采集分析层

数据采集分析层针对要采集的多源制造数据,通过配置符合飞机装配需求的各类传感器、电子标签,实现对装配现场制造要素的各类状态、运行、控制等参数的采集,实现物理

制造资源的互联、互感,确保飞机装配过程多源信息的实时、精确和可靠获取。另外,在获得生产过程制造数据的基础上,将源自异构传感器上多源、分散的现场数据转化为可被制造执行过程决策利用的标准制造信息^[3]。通过定义多源数据关系、构建实时数据模型,建立信息整合规则,完成多源数据在制造执行环境中的融合处理,实现多源数据在制造执行环境中的最终整合,并转换为可直接为制造执行过程监控与优化服务的标准制造信息。

3 制造执行与优化层

制造执行与优化层基于采集到的各类制造数据,进行多种制造活动,包括飞机数字化装配、装配过程

建模与仿真优化、生产过程实时监控、设备运行监测控制、物料的配送管理、飞机装配质量的实时检测等。

4 系统集成层

系统集成层是实现与企业现有的CAPP、ERP、PDM、MES等系统的集成,达到所有资源、数据、知识的高度共享。

飞机装配智能制造关键技术

1 飞机数字化装配技术

飞机数字化装配技术是数字化装配工艺技术、数字化柔性装配工装技术、光学检测与反馈技术及数字化的集成控制技术等多种先进技术的综合应用,以实现装配过程的数字化、柔性化、信息化、模块化和自动

化,提高产品质量、适应快速研制和生产、降低制造成本为目标。

根据复杂航空产品具有的结构复杂、零部件组成数量庞大、装配精度高等装配特点,飞机数字化装配技术的体系如图2所示。飞机数字化装配技术主要实现4个基本功能:飞机装配建模、装配序列建模、装配路径规划和装配过程分析^[4]。在飞机装配建模模块中,首先要建立飞机的三维装配模型,然后进行公差、约束和装配力分析;其次,建立飞机装配体的初始装配序列,规划飞机装配路径;再次,以飞机某个关键零件为参照,对其余零部件进行运动仿真,从而使得飞机装配过程可视,以此检验飞机装配过程是否合理,进而实现装配过程的优化。

2 飞机装配过程建模与仿真优化技术

根据飞机装配过程的实际需求,提出其制造过程建模与仿真优化技术的体系结构,如图3所示。飞机装配过程建模与仿真优化技术作为先进的系统评价与优化工具,可以对整个制造系统进行深入地分析评价与优化。

首先,结合飞机装配工艺路径规划、装配物料清单和实际的装配路线布局,采用多粒度建模方式对飞机装配线进行1:1虚拟建模,通过仿真评估模块对仿真模型进行有效性评估,保证所建立的飞机装配模型能满足后续的在线仿真和优化的需要。其次,分析和评估该装配的制造能力,确定装配瓶颈环节。然后,根据要求进行优化,根据优化结果修改模型,直到方案满足给定要求。最后,对满足条件的飞机装配过程仿真模型进行在线仿真,实时数据由MES系统采集得到,包括人员工作状态信息、物料状态信息、工件状态信息、测试设备状态信息、物流状态信息和装配进度信息等,由这些实时数据驱动仿真模型运行,并实时比对当前的工

作进度和仿真进度。

3 智能物料配送技术

飞机装配系统是由一系列离散型工位和物料配送系统组成的,物料配送在产品装配过程中具有非常重要的作用。车间在物料配送过程中要求智能配送小车以装配工具包为单元,并选择最短移动路径运输。为实现物料的自动配送和配送路径的智能选择,提出采用基于实时定位的物料配送技术,其结构如图4所示。

(1) 车间定位。

飞机装配车间定位采用区域定位和精确定位相结合的方式,利用区域定位技术采集物料、工装等的区域位置信息,精确定位信息实现物料配送车辆的导航和追踪。

(2) 车间数据模型。

车间数据模型主要将车间装配过程中数据进行分类与匹配,建立标准化模型,形成有效的生产系统数据管理模型,通过属性特征来表征基础

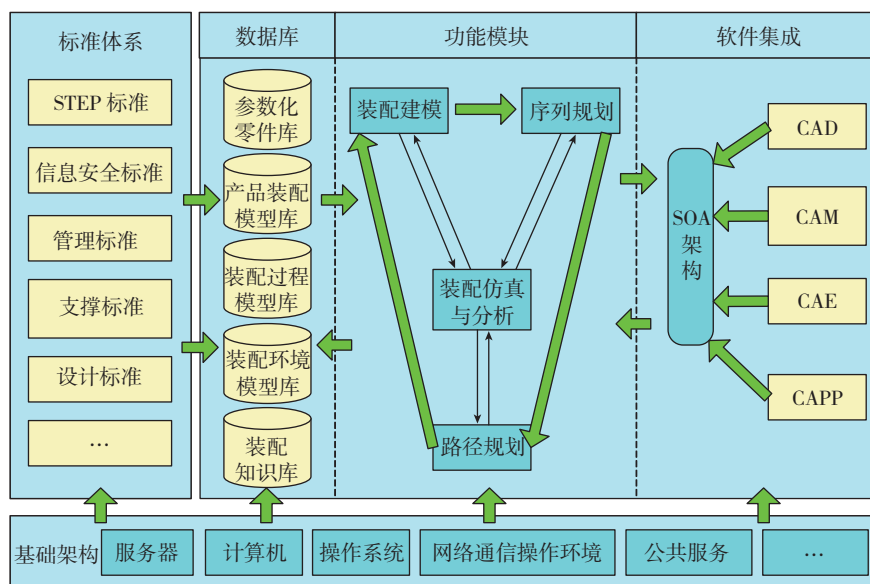


图2 飞机数字化装配技术体系结构

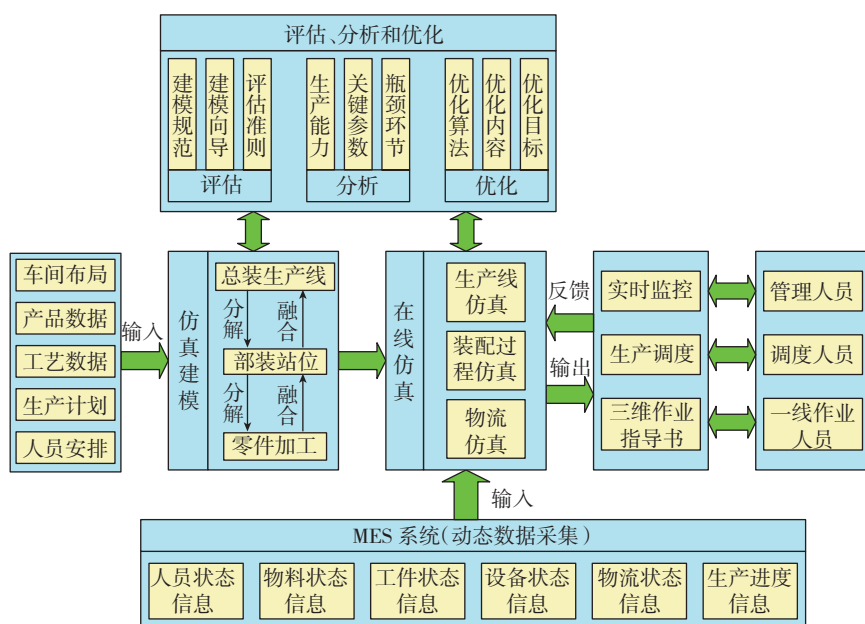


图3 飞机装配过程建模与仿真优化技术体系结构

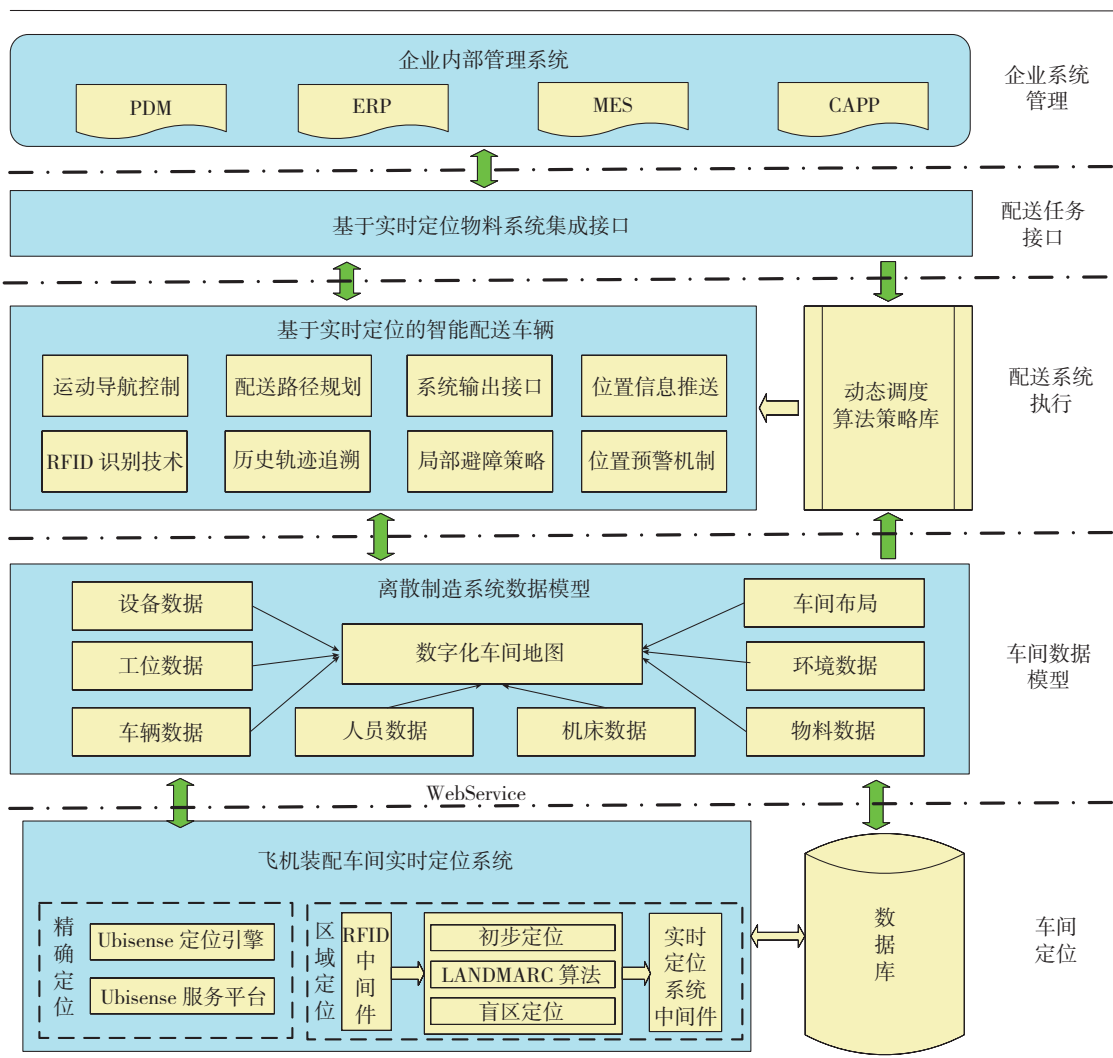


图4 智能物料配送技术体系结构

数据,动作特征来反映产品装配过程的动态数据,并将这些数据实时反馈在数字化车间电子地图中,为物料配送系统的功能执行层提供实时可靠的数据支持。

(3) 配送系统执行。

基于实时定位的物料配送的功能执行是实现物料动态配送优化的一个关键。通过接收配送任务,根据数字化车间地图提供的实时数据信息,规划出物料配送的最优路径,并在配送过程中及时响应车间生产要素的临时变动,通过调用不同的动态优化策略,实现物料配送过程的二次优化配置。

(4) 配送任务接口。

配送任务接口实现与企业现有的信息化系统进行集成,如ERP系统、MES系统、CAPP系统等。

(5) 企业系统管理。

企业系统管理主要负责根据生产任务和订单生成相应的生产计划和工艺路径等信息,并将这些信息下发到配送任务接口层,利用集成接口将工艺数据转换为可识别的配送任务数据。

4 基于物联网的飞机装配车间智能感知技术

将物联网技术融入到飞机装配车间。针对目前飞机装配车间现场制造数据采集手段落后、生产状态反馈滞后、装配过程不透明等问题,提

供飞机装配过程中的装配要素动态组网、装配信息实时采集与管理、装配过程状态对应评估的集成方案,解决面向飞机装配过程自动化的物联网应用集成问题,形成可扩展、可配置的“物联网飞机装配车间”应用系统,实现飞机装配过程状态和制造质量信息的可视化。基于物联网的飞机装配车间智能感知技术结构如图5所示。

基于物联网的飞机装配车间智能感知技术,为车间提供基于物联网的飞机装配现场制造信息采集、建模、存储、查询、交换、分析和使用的系统解决途径和工具,有效实现装配现场装配要素的实时监控、飞机装配

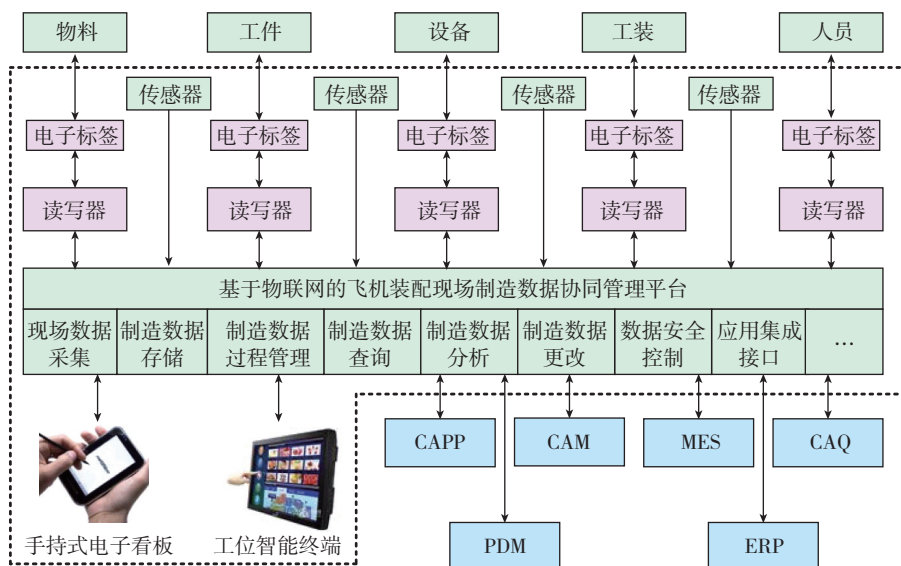


图5 基于物联网的飞机装配车间智能感知技术体系结构

全过程的跟踪与追溯以及完整和准确的装配现场装配信息提供,对推动企业实现智能化装配具有重要的意义。

5 面向飞机协同设计装配的云服务技术

面向飞机协同设计装配的云服务技术,结合现有信息化制造(信息化设计、生产、试验、仿真、管理和集成)技术与云计算、物联网、服务计算、智能科学和高效能计算等新兴信息技术。将各类制造资源和制造能

力虚拟化、服务化,构成制造资源和制造能力的服务云池,并进行统一、集中的优化管理和经营,用户只要通过云端就能随时随地按需获取制造资源与能力服务,进而智慧地完成其制造全生命周期的各类活动^[5],其体系结构如图6所示。

面向飞机协同设计装配的云服务技术的重点在于支持飞机装配资源的动态共享与协同。飞机装配资源包括设计分析软件、仿真试验环境、测试试验环境、各类测试设备、高

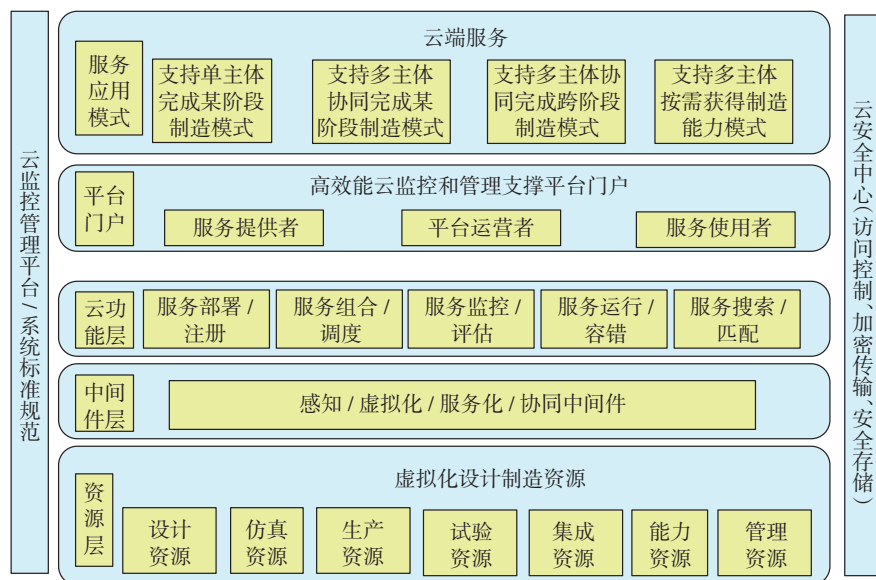


图6 面向飞机协同设计装配的云服务技术体系结构

性能计算设备和企业单元制造系统等。面向飞机协同设计装配的云服务技术能够支持样机设计装配一体化,各部门通过企业网络可随时随地按需获取云制造系统中的各类设计和生产服务资源,实现基于流程的跨阶段协同装配。

6 PDM/ERP/CAPP/MES 等信息系统的无缝集成技术

基于物联网的飞机装配车间智能感知技术为 PDM、ERP、CAPP 和 MES 系统提供原始数据。根据典型应用系统的集成需求,设计基于 XML 技术的信息集成方案,以统一、可扩展的方式解决跨语言、跨应用的应用系统间集成问题,降低其系统集成的耦合度,提高集成的适应性。如图7所示为飞机装配车间数字化平台数据集成需求。

根据集成层次的不同,可以将应用系统与信息化平台的集成模式划分为封装模式、接口模式和紧密集成模式。紧密集成模式是最高层次的集成。在这一层次中,各应用程序被视为信息化平台系统的组成部分,对所有类型的信息,信息化平台都提供了全自动的双向相关交换,使用户能够在前后一致的环境里工作,真正实现一体化。采用紧密集成模式,需要对应用工具的数据和集成工作平台的产品结构数据进行详细分析,制定统一的产品数据之间的结构关系,只要其中之一的结构关系发生了变化,另一个会自动随之改变,始终保持应用工具和集成平台的产品数据的同步。

结束语

飞机装配智能制造是将物联网、大数据、云计算、人工智能等技术引入到飞机装配的设计、生产、管理和服务中。建立飞机智能装配体系,将有效提升飞机装配系统的自感知、自诊断、自优化、自决策和自执行能

(下转第 50 页)

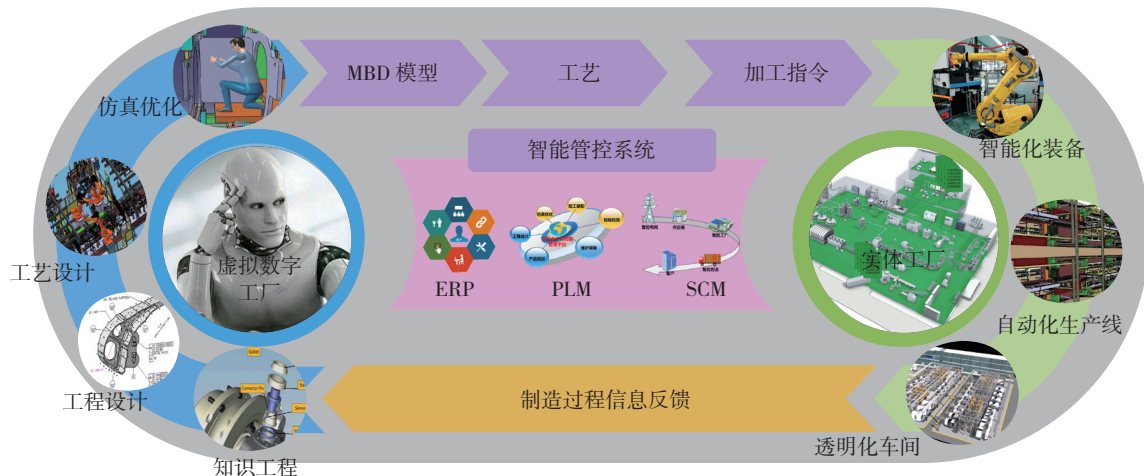


图4 智能工厂基本架构

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)

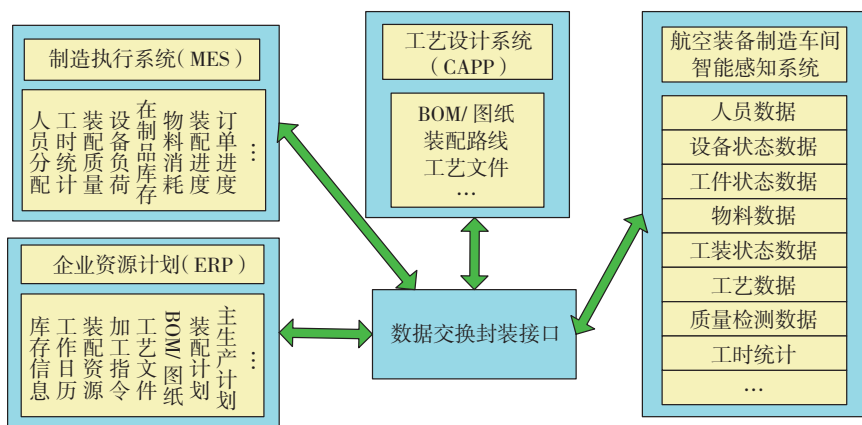


图7 飞机装配车间数字化平台集成

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)