

基于模型定义和智能设备的 新一代航空工厂

New Generation of Aviation Plant Based on Model Definition and Smart Equipment

金航数码科技有限责任公司 张伦彦



张伦彦

高级工程师,金航数码科技有限责任公司生产管理业务部副经理。主要从事制造执行系统、精益制造、企业信息化等方面的研究,主持和参与了多家航空制造企业的生产管理系统建设工作。

国际航空制造业应用数字化技术呈现出快速发展的势头,MBD技术的应用正在从设计领域往制造领域延伸,在航空工厂应用MBD技术已经成为重要的研究方向。支撑国际航空制造业快速发展的还有不断提升的硬件设备,航空工厂的自动化设备正在朝着智能化的方向发展,在三维数字制造环境中集成智能化设

在精益生产组织和管理的的基础上,设计和开发适合航空工业特点的新一代工厂集成软件和控制系統,充分发挥MBD技术和智能设备的应用效果,能够实现航空工厂制造过程的数字化、智能化、无纸化和精益化。基于模型定义和智能设备的新一代航空工厂必将成为提升航空工业核心制造能力的重要发展方向。

备,已经成为促进航空工厂从数字化走向智能化的关键。

基于模型的企业和 数字制造技术

现代制造业的数字化技术应用非常迅速,美国机械工程师协会(American Society of Mechanical Engineers, ASME)在2003年提出的“基于模型定义”(Model Based Definition, MBD)采用了集成的三维实体模型来完整表达产品定义信息,改变了传统的基于二维图纸和辅助文档的产品设计形式。MBD的影响正在从设计阶段向下游延伸,美国国家标准与技术研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)和美国军队研究所(Army Research Laboratory, ARL)将“基

于MBD的企业共享和集成环境”称为“基于模型的企业”(Model Based Enterprise, MBE),产品数据模型成为产品全生命周期(设计、制造、维护)各阶段全部必要信息发布的载体^[1]。制造是产品全生命周期中的关键环节,在制造现场应用MBD技术成为了航空数字化工厂的重要发展方向,航空数字化工厂也成为支撑航空企业打造MBE的重要基石。

从MBD迈向MBE的关键是发展“基于模型的制造”(Model Based Manufacture, MBM),ARL认为MBD在制造端的应用遇到了以下6个方面的困难:(1)制造端的数据视图依赖于设计端的应用系统;(2)上游的应用文件格式限制了下游应用系统的选择;(3)供应商没有可供选择的合适格式,他们需要面向低成本制造

使用和浏览的数据格式;(4)对于数字化数据存储和长期访问来说,还没有可接受的标准;(5)产品的生命周期可能比计算机软硬件的生命周期还要长;(6)完全摆脱2D图纸还需要一个过程。

为了解决这些困难,美国国防部的制造技术计划(Manufacturing Technology Program, ManTech)提出了技术数据包(Technical Data Package, TDP)的概念,用以解决数据在MBE内传递和使用的问题。ARL指出TDP的趋势是从“3D模型与2D图纸混合”走向“完全产品制造信息(Product Manufacturing Information, PMI)、标注和相关数据”。为了规范TDP的应用,推动MBD和MBE的发展,2009年发布了专门针对TDP规范的美国军用标准MIL-STD-31000,标准涉及的方面包括:TDP层次、TDP类型、TDP要素、TDP数据管理等^[2]。

对于TDP的应用方向,ARL提出需要建立“直接从原型到生产”(From Prototype To Production)的“数字线”(Digital thread)。“数字线”的最大特点是无人参与,ARL认为“数字线”也是MBE最终追求实现的目标。航空制造业作为高端制造业的代表,是“数字线”最早的成功实践者,洛克希德·马丁公司在美国新一代战机F35制造中,成功地利用3D-CAD数据直接输给计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)机床进行零件加工,或输给复合材料编程系统(Computer Program System, CPS)进行碳纤维布置的设计,最后成品都可以追溯到原始的计算机模型——从设计开始到加工乃至最终装配,形成了不间断的数字数据的链路。F35采取的是全球采购模式,其零部件的采购和生产都是基于F35的基础制造模型,其全球供应商是数字线的利益相关者,参与了网络化的协同研制和协同生产,其采取的虚拟

装配系统将其全球供应商提前纳入了装配过程,使得数字设计定义信息能够贯穿设计、构建和支持全过程,如图1所示。

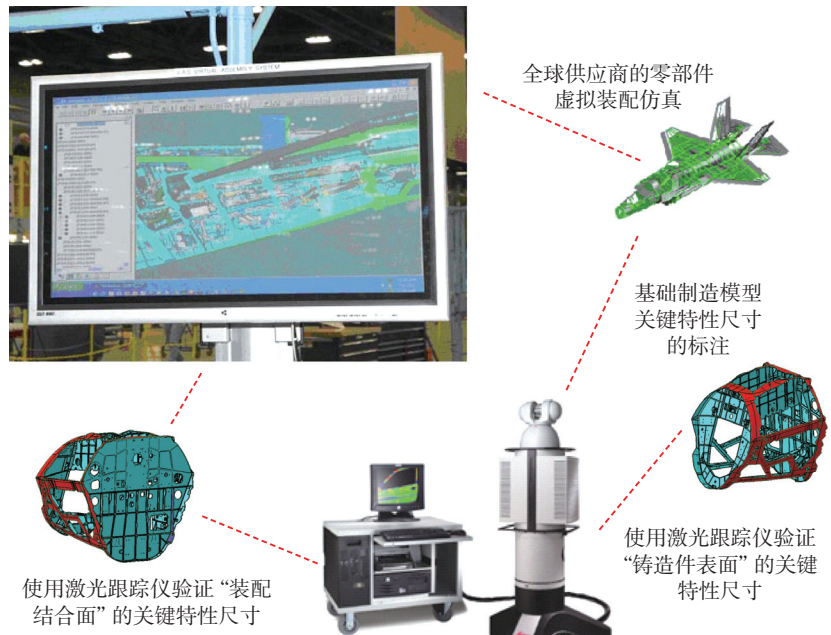


图1 洛克希德·马丁的数字线

智能设备和智能制造技术

快速发展的硬件设备也正在改变着现代制造业的面貌,智能化成为硬件设备发展的最重要方向,智能化设备已经成为支撑数字制造技术从虚拟世界走向现实世界的最重要手段。NIST在2006年启动了“智能装配”(Smart Assembly)研究项目:在智能装配环境下,所有的装配作业都由带有传感器的自动化设备完成,实现数字制造技术在真实自动化装配中的应用^[3]。“智能装配”的特点包括:智能协作的机器人、传感器、受动器、控制器;软件的可重构性;可消除安全隐患;模块化、低成本、可重用。除了“智能装配”外,NIST还陆续启动了“智能制造过程和装备”(Smart Manufacturing Processes and Equipment)研究项目,“下一代机器人和自动化”(Next-Generation Robotics and Automation)研究项目,这些项目的研究热点包括:机器人

安全标准;用于位置识别和操作人员跟踪的非接触式传感器;高级智能制造的感知;工业用自动运输设备;机器人优化和控制。

在智能化设备支撑的集成制造环境下,NIST期望能够实现如下的应用效果:(1)高度的协同,人和自动化设备在一个共享的环境中协同工作;(2)高度的可配置性和可重编性,系统能够很好地适应新产品、新设备和新软件,系统具有自我集成和自我优化能力;(3)基于3D模型和数据驱动生产和测量过程,使用虚拟和现实相结合的方法,在现实制造中不断采集过程信息,用以更新制造过程中的虚拟模型,虚拟模型被用来提升闭环控制、条件监控和自动诊断的能力;(4)防止故障重复发生的自学习能力,在线生产时的自动纠错能力。

国际航空制造企业是智能设备和智能制造的积极参与和实践者,图2描述的是波音公司的智能装配现场环境,与传统的航空生产车间不同,大量的智能设备与人组成了一个协同的智能制造环境:板球微粒传感器安装在网络可用的装配区域,记

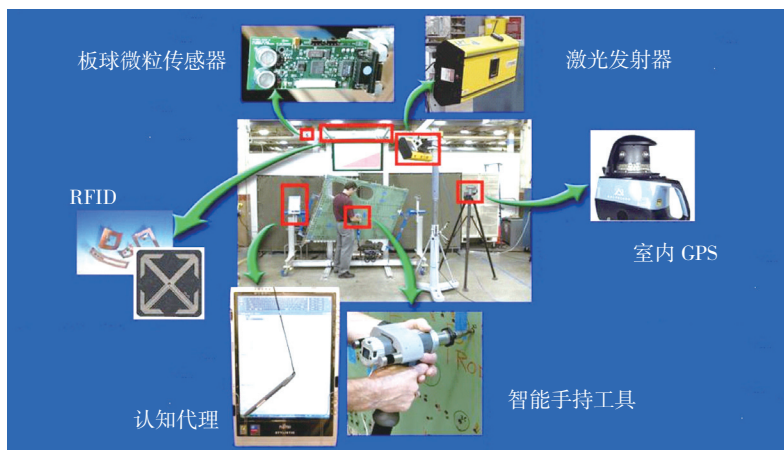


图2 波音的智能装配车间

录和验证工厂内的关键数据; RFID 能够验证工具精度、工装寿命和机械状态; 认知代理能够完成动态、调节性的过程监控, 在正确的时间, 将正确的信息提供给正确的人; 激光发射器能够显示工程定义, 探测物体 3D 空间的位置; 室内 GPS 能够提供实时的位置数据给智能手持工具以发现缺陷; 智能手持工具借助网络获取位置信息和加工需求, 在加工过程中, 智能手持工具又将实际位置和加工参数传递给网络, 系统能够通过网络比较“预定义作业”和“实际作业”的信息, 纠正和记录作业过程。

先进的工厂背后一定有先进的管理

MAZAK 旗下的宁夏小巨人公司一直是国内制造业学习的对象, 小巨人的车间被誉为国内最具典范的现代化车间, 柔性生产线、柔性工装、智能编程、智能刀具管理、无人值守加工、智能日历、智能监控都是其显著的亮点。很多企业都引进了小巨人的设备和技术, 但是国内一直没有哪家企业建成了具有相同水准的车间, 究其原因, 还是没有真正学习到先进设备和技术背后的管理思路和管理文化。

航空现代化工厂的建设问题同样不是靠单纯引入模型定义技术和智能设备所能够解决的。在引进这

些先进制造技术的基础上, 进一步提升管理水平才是建设新一代航空工厂的必由之路。

新一代航空工厂需要从以下 4 个方面进行管理方面的提升:

(1) 管理文化的改变。

从制度约束员工, 改变为员工的自我约束; 从机械性的重复工作, 改变为有激发创造的氛围; 从靠领导权威做决策, 改变为平等研讨和集中决策; 从较低的工作规范度, 改变为较高的工作规范度; 从重视短期效益, 改变为重视持续改进。

(2) 现场组织的改变。

根据产品的特点, 规划生产线或生产单元的布置, 经济的采购自动化设备, 搭配符合自身特点的工程软件和生产管理软件, 发挥出制造系统的整体运作效率, 而不要单纯的追求某项数字技术的先进性或某台设备的智能性。

(3) 重视精益制造。

在工厂设置专职的精益管理者; 控制过量投入和在制品积压严重的问题; 消除过多的生产准备时间和等待时间; 通过价值流分析等手段做持续性的生产改进。

(4) 让追求柔性成为企业的文化。

对于工人, 从传统的专业化分工, 改变为具备多样化技能; 对于设备, 从传统的按工艺分组, 改变为柔性化生产单元; 对于工装, 从传统的

专用工装, 改变为多用途的柔性工装; 对于刀具, 从传统的使用专用刀具, 改变为使用刀具库, 并做刀具寿命控制。

围绕 MES 构建航空数字化、智能化工厂集成应用环境

20 世纪末, 由美国先进技术研究所 (Advanced Manufacture Research, AMR) 提出的制造执行系统 (Manufacture Execution System, MES), 经过 20 余年的工程应用和持续发展, 已经成为工厂实现信息化管理的最佳平台。中航工业的 MES 建设一直走在国内的前列, 航空企业的 MES 应用正日趋成熟。

新一代航空工厂的发展呈现出数字化、智能化的发展方向。所谓数字化就是要实现三维数字模型从设计到制造的贯通: 从 MBD 到“基于模型的工作指示” (Model Based Instruction, MBI), 再到基于 MBI 的现场制造和现场装配。所谓智能化就是“人机料法环测”的一体化管理: 基于工业现场总线, 实现了对设备的智能控制, 从而降低了对人的要求, 人只需要按照系统的要求去工作, 甚至无人或者少人参与, 最终人机联动生产出物理的产品。

数字化、智能化是航空工厂发展的 2 个方向, 也是 2 种不同的发展思路。MES 是面向工厂生产运作管理领域的信息化管理系统。无论是数字化, 还是智能化, 都对 MES 构成了巨大的冲击。数字化工厂所最终追求的“数字线”, 能够实现“直接从原型到生产”; 智能化工厂所最终追求的“无人值守”, 能够在工业现场网络层面解决大部分的生产管理问题。数字化和智能化的到来, 使得生产运作管理的问题被大幅简化甚至走向消亡, MES 似乎将变得无用武之地。

但是, 航空工厂实现完全的数字化、智能化并不现实: ARL 认为 MBD 走向制造端的“六大困难”之一就

时恢复生产的连续性。

(3) 现场物流和保障。

居于企业级物流之下的现场物流精益配送系统,能够根据生产计划和生产节拍进行物流配送;依托于设备实时监控技术的生产线或生产单元保障系统,能够快速解决生产过程中的故障,保证生产的连续性。

(4) 现场作业过程。

围绕现场作业中最核心的生产任务接收、工艺文件浏览、加工或装配作业、检验检测和数据采集等业务,构建面向操作者的生产运作门户,驱动设备的自动加工,实现生产现场的无纸化和数字化;构建生产运作智能模块,使得系统在生产现场具备自学习和自动纠错功能。

该航空工厂集成制造环境的设计有如下重要特点:

(1) 实现了作业现场的无纸化。

设计了 MBI 的二次编辑环境,能够根据现场的变化对 MBI 做灵活调整;扩大了 MBI 的概念,使得 MBI 不仅能够作为驱动加工者和智能化设备工作的依据,还能够作为现场制造数据记录的载体,并通过自动化数据采集设备降低人工数据采集的工作量,通过智能分析手段在第一时间对采集的数据进行预警分析。

(2) 实现了生产执行的准时化。

能够接收 3D 数字模型及其技术数据包,从中解析获得制造清单和工艺过程数据,使得工厂生产计划及其资源准备计划的精确化管理成为可能,尤其能够提高单架(单台)产品的技术状态及生产控制水平;通过物料配送和保障系统,增强系统的稳定性和生产的连续性,提高了生产执行的准时化水平。

(3) 实现了生产作业的自动化。

在作业现场使用 3D 数字模型驱动智能设备,实现自动加工和自动测量,支持了实际加工特征与标准特征的差异分析;基于智能设备实现制造执行过程的实时监控和问题管

理,使得航空复杂产品的离散制造也能够达到设备管控一体化的水平。

(4) 实现了生产系统的智能化。

构建了具有在线生产仿真和故障自动纠错功能的协同工作环境,使得系统获得自学习能力,能够大幅降低加工者的工作量,降低生产错误率;系统还在生产计划和执行、设备维护和故障预防、生产数据诊断和问题分析等方面提供采用人机交互式风格的各种智能化模块。

(5) 实现了工作界面的门户化。

设计了面向角色的生产运作门户,在必要的生产环境下,还需要为用户提供支持双屏幕乃至多屏幕的生产运作门户,扩大用户的制造数据视角和维度,提供了更多的分析和对比数据看板,使得用户能够在更多生产要素信息的支撑下协同工作。

该航空工厂集成制造环境在实现方面需要突破如下核心技术:

(1) 建立具有向导功能的生产运作门户搭建工具,使得生产运作门户能够做到:具有高度个性化和自定义配置功能,支持由用户自己采用图形化方式快速搭建,支持基于业务流程或产品工艺流程的流程节点做个性化的门户配置,能够浏览 3D 数字模型及其技术数据包,支持多媒体录制和播放功能,集成自动化数据采集设备。

(2) 实现基于 3D 数字模型的生产在线仿真的功能,能够基于生产在线采集的过程数据,自动进行数控程序的偏置,能够根据生产过程统计的数据对设备进行自动纠错,能够基于生产的历史数据进行问题分析和诊断,在人的干预下形成制造知识并应用于后续的自动加工过程中。

(3) 建立基于模型特征的解析和提取接口,将模型特征从软件系统传递给自动化控制系统,同时将加工特征自动转换为数控程序,传输接口能够支持多种类型的设备数控系统,驱动数控程序实现基于 3D 数字模

型的自动加工和自动测量。

(4) 建立基于中间文件的标准化解析方法,实现跨平台和跨系统解析 3D 数字模型及其制造清单和工艺过程数据;能够基于解析获得的原子级数据和现场采集的制造实作数据,实现加工对象的局部或全部的二次造型,并与原始模型对比制造过程中产生变化的数据。

(5) 实现精确生产排程功能。通过生产仿真获取比较精确的加工时间数据,排定生产线或生产单元的工序级作业计划,实现混线产品的生产均衡化,提高设备的综合利用率;通过对生产线做的各类事前性故障仿真和制定处理预案,提高生产过程的稳定性;提供基于人机交互方式的可视化生产调度模块,快速调整计划和资源准备,提高系统的快速响应和修复能力,使得实现部分工序乃至全部工序的无人值守生产成为可能。

结束语

在精益生产组织和管理的基礎上,设计和开发适合航空工业特点的新一代工厂集成软件 and 控制系统,充分发挥 MBD 技术和智能设备的应用效果,能够实现航空工厂制造过程的数字化、智能化、无纸化和精益化。基于模型定义和智能设备的新一代航空工厂必将成为提升航空工业核心制造能力的重要发展方向。

参考文献

- [1] Frechette S. Model Based Enterprise: Implementing MBD. [2012-12-03]. http://model-based-enterprise.org/Docs/NIST_MBE_Presentation.pdf.
- [2] Ney G. MIL-STD-31000 Technical Data Packages. [2012-12-10]. <http://www.mel.nist.gov/msid/sima/mbe/2010/MIL-STD-31000.pdf>.
- [3] Hall D. Smart Assembly: Vision and Needs. [2011-11-15]. <http://smartassembly.wikispaces.com/file/view/smartassembly.ppt>.

(责编 夏宛)