

doi: 10.7690/bgzd.2013.08.009

兵器装备精益制造数字化发展趋势及工程化应用

宋琳¹, 陈娇²(1. 中国兵器工业的五八研究所投资管理处, 四川 绵阳 621000;
2. 总装重庆军代局驻绵阳地区军代室, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为了提高军工制造业的生命周期质量保障和网络化管理等方面的能力, 对数字化技术的生产系统以及军工快速响应研制体系进行研究。基于数字化技术在先进制造技术的重要性及国内外数字化制造技术的研究现状, 从数字化技术创新设计及工程化验证技术和数字设计/工艺/管理系统一体化集成平台技术 2 方面出发, 对兵器装备精益制造数字化工程应用进行研究, 并对数字化制造技术的工程化应用将要发展的技术方向进行了展望。该研究为从战略角度大力开展数字化制造技术的研究开发和应用提供了参考。

关键词: 数字化技术; 工程化应用**中图分类号:** TJ05 **文献标志码:** A

Weapon Lean Manufacturing Digital Technology Development Trend and Engineering Application

Song Lin¹, Chen Jiao²(1. Management Office of Investment, No.58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China;
2. PLA Presentation Office in Mianyang District, PLA Military Representation Bureau of General Equipment Headquarters in Chongqing, Mianyang 621000, China)

Abstract: For improving life cycle quality support and network management of military manufacturing industry, research on digital technology manufacturing system and military manufacturing quick response scientific research system. Based on the importance of digital technology in advanced manufacturing technology and these research status of digital manufacturing technology at home and abroad, from digital technology innovation design and engineering verification technology and digital design/technology/management system integration platform technology, research on weapon lean manufacturing digital engineering application, and outlook for its development direction. The research can be reference for the vigorous development of digital manufacturing technology research, development and application on the basis of strategic perspective.

Key words: digital technology; engineering application

0 引言

现代新军事的变革为现代战争展现了全新的概念, 以数字化为核心的战争是空、天、海、陆四维的数字信息和火力的全面对抗。一流的武器装备需要一流的国防制造技术来支持。未来高技术战争的胜负不仅在于是否拥有高技术武器装备, 更取决于是否拥有高技术战争的国防科技工业。通过建立基于数字化技术的生产系统以及军工快速响应研制体系, 使得军工制造业具备快速响应、柔性生产批量或变批量生产产品全生命周期质量保障和网络化管理等多方面的能力, 是军工制造业特别是兵器行业适应新军事变革发展的必然选择^[1]。

1 国外数字化制造技术发展现状及趋势

数字化制造技术是 20 世纪 80 年代后期以来, 随着计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助制造 (CAM) 技术、计算机集成制造系统 (CIMS)、柔性制造系统 (FMS) 等先进制造技术的发展, 以及电子、

信息等高新技术水平不断提高, 以美国为首的西方发达国家开始研究并采用的一项新技术。这项技术以全面采用数字化产品定义、数字化预装配、产品数据采集及管理、并行工程和虚拟制造技术为主要标志, 从根本上改变了传统的制造方式, 大幅度提高了产品制造技术水平。到 20 世纪 90 年代中期, 发达国家基本上完成了以数字化技术改造传统武器研制过程的任务, 并提出了基于全数字化样机的异地协同研制体系^[2]。

目前, 美国和欧洲主要发达国家已掌握了武器装备一体化设计制造技术、系统虚拟样机、数字化试验等技术, 武器系统研制周期缩短了 50%, 研制费用减小了 30%。可以说, 发达国家在数字化制造技术方面起步早、技术先进、应用普遍且深入, 成效非常显著。

其中, 精益制造产生于 20 世纪 80 年代后期的美国学术界与工业界, 是一种以实现零库存、高柔性 (多品种)、无缺陷制造为目标的先进制造模式。

收稿日期: 2013-02-21; 修回日期: 2013-03-05

作者简介: 宋琳 (1982—), 男, 山西人, 硕士, 助工, 从事武器装备信息与控制、项目管理研究。

其核心是消除制造过程中的浪费和一切非增值环节，使企业同时具备大批量生产经济性和多品种生产灵活性。近年来，精益制造已成为全球性的制造发展方向与模式，“精益造飞机”、“精益造船”和“精益造车”等工程在各国得到了广泛实施。围绕精益制造出现了许多新的理论和方法，如以发明问题求解理论 TRIZ 与公理设计理论 ADT 为核心的系统创新设计理论与方法、计算机仿真技术与方法、约束理论 TOC 及其方法、精益工艺设计 (DFM/DFMA/DFX) 等，均是被实践证明成功的理论与方法^[3]。将精益制造先进的方法与其他先进制造技术融合，是精益制造发展的一个重要趋势，如在日本丰田汽车公司精益生产方式已经和敏捷制造、计算机网络技术等密切结合，发展成为新的丰田汽车生产方式。目前，各国在实施精益制造的过程中，如何根据国情和企业的实际，在实现精益理论或方法本土化与数字化系统集成基础上，提升精益制造的技术水平，是需要各国长期持续努力的方向。

2 国内数字化制造技术发展现状

我国军工行业应用数字化技术较晚，与国外有一定的差距。“十五”期间，国内军工各企事业单位加大建设力度，加大投入，使军工信息化水平有了显著提高，计算机辅助设计、制造和集成技术得到普遍应用，军工数字化制造技术得到快速发展^[4]。

航空、航天、船舶等行业在 21 世纪初采用了全数字化样机的设计技术，实现了全产品的数字化定义、虚拟试验和数据协同管理，改串行工作模式为并行工作模式，缩短了产品研制周期，提高了产品质量，降低了研制成本。例如，航天科工集团大力推行信息技术在工程设计、生产制造和企业管理等方面的应用，产品结构周期缩短约 40%、产品开发成本降低 20%、产品设计制造的更改次数减少

50%。航空工业集团在重点型号和科技生产中广泛应用数字样机技术，提升航空产品数字化的协同设计制造能力，在某型号飞机研制中，航空工业建立起全三维研制体系，包括关联设计系统、协同研制系统、专业设计平台、综合管理系统等，应用全三维关联设计技术，机头的研制周期缩短了 50%，设计返工减少了 80%，平均工艺准备周期缩短了 50%。

我国兵器装备制造行业从 20 世纪 90 年代初开始应用 CAD 技术进行零件设计，到目前为止基本实现了三维建模、二维工程图设计，甩掉了图板，对部分产品进行了初步的仿真分析，设计手段有了较大的转变，零部件的设计质量也有了提高。但在数字化制造技术的研究和应用方面，从整体上来看还处在初级阶段。虽然在国家计划支持下实施了零件准柔性生产线、机床数控联网、车间制造执行系统等示范系统，但还未建立适应于兵器装备制造特点的数字化集成制造标准体系与规范，未对企业的流程进行精益化规范和优化，也未建立成套的数字化系统，这些均限制了示范系统效能的发挥。目前还在大力实施设备自动化，如自动化生产设备、自动化检测仪器、自动化物流运输存储设备等，取代不少人工劳动并解决了一些生产瓶颈，但在装备的制造模式上没有根本的转变，仍主要采用基于个人知识经验的传统工艺设计模式，以及将设计、工艺、制造分离的传统制造模式。兵器装备制造行业的整体制造水平与国外同行业相比落后近 20 年以上，与国内其他军工行业相比落后 10 余年，差距较大^[5]。

3 兵器装备精益制造数字化工程应用研究

目前，兵器装备精益制造数字化工程应用研究主要包含精益制造数字化技术创新设计与工程化验证技术和数字设计/工艺/管理系统一体化集成平台技术 2 个方向，如图 1 所示。

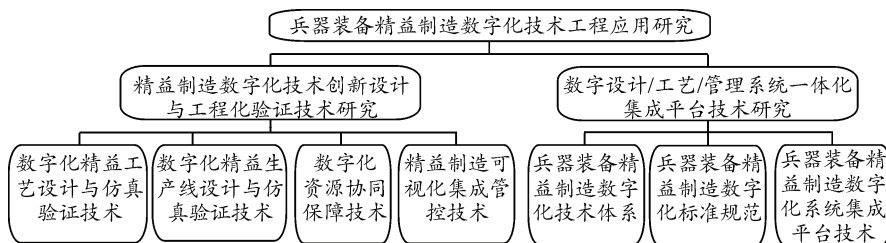


图 1 兵器装备精益制造数字化技术工程应用研究内容

3.1 数字化技术创新设计与验证技术

实现兵器装备精益制造需要针对工艺设计、制造执行、资源保障、生产管控等环节中存在的突出问题，重点研究采用精益理论和方法对现有业务流程进行规范和精益改进，并应用先进的数字化技术，

提升精益制造的实施效率和效果，达到工艺设计并行化、制造过程合理化、资源保障协同化、生产管控可视化。

数字化技术创新设计与验证重点研究以下关键技术。

3.1.1 数字化精益工艺设计与仿真验证技术

目前,兵器装备制造企业工艺的设计主要基于个人知识经验的传统工艺设计模式,没有相应的数字化分析手段,不能实现工艺过程模拟验证,只能在加工过程中由技术工人凭经验根据情况进行工艺参数调整。由于对影响产品性能的工艺科学预测能力较弱,造成一些隐藏在工件内部的缺陷(如成型过程中的应力、微裂纹、表面处理厚度不够等),流转到后续工序,给武器系统留下隐患;没有稳定统一的方法,很难保证装备制造的质量。

为提高兵器装备工艺的可制造性和保证产品质量,必须进行基于精益工艺设计方法和数字化设计分析手段的数字化精益工艺设计与仿真验证技术研究。各国长期的实践证明:运用 DFM 或 DFMA、过程统计控制 SPC 与过程控制变异分析和 FMEA 分析,可以有效地消除产品制造过程中的设计缺陷与质量缺陷。随着制造技术的进步、计算机技术的普及和系统集成与信息化的研究与开发,出现了先进的数字化工艺设计、工艺过程仿真验证以及知识库系统软件或工具。综合运用以上方法和数字化手段,可实现工艺设计与制造过程的信息集成、工艺数字化协同设计、关键工艺过程仿真验证、工艺知识沉淀与重用等,为有效保障工艺的可制造性提供技术支撑,并可提高工艺的创新设计能力。

3.1.2 数字化精益生产线设计与仿真验证技术

兵器装备制造企业目前是典型的多品种、小批量、混流生产模式,生产线的组织方式具有以工序相对集中、没有固定节拍、物料非顺序输送等特点。在推行精益生产方式时,需要对现有的制造流程进行精益的创新与改进,削减流程中一切不必要又能消除的因素,增加精益生产控制环节,比如看板、预防差错装置、制品库存量以及在生产现场合适的地方设置精益工具等,有效地改进制造过程的精益性并提高工厂生产的可靠性。使兵器装备精益制造在现有中小批量生产的条件下,产生接近大量生产方式由于刚性自动化所达到的高效率和低成本。

数字化精益生产线设计与仿真验证技术是采用资源数字化建模技术、虚拟仿真技术、工作流技术等对生产线组成布局进行数字化设计,并模拟产品制造流程的实现,依据精益生产实施结果的评价指标体系评估生产线的效能,为兵器装备制造企业现有生产线的精益化改进提供科学的依据。同时在新增工艺设备、新建生产线或新建工厂时,可通过对生产线的模拟、分析、评估,使生产线的布局及流

程管控更加合理,保证新增投入效益的最大化。

3.1.3 数字化资源协同保障技术

兵器装备行业的生产模式是典型的多品种、变批量、混流共线生产,生产组织、管理、保障模式复杂、难度大。实际生产中资源保障受人为因素影响大,待工、待料现象多,生产周期长、成本高。在推行精益制造过程中,围绕实现准时生产的目标,从保证生产连续性和高效性的角度,对资源保障流程、资源库存、获取方式、管理维护等环节提出了改进和创新的要求,尽量做到消除浪费、减少库存、快速准备、及时配送、减少运输批量、高效维护等,实现资源整合管理、高效控制、协同保障。

数字化资源协同保障技术是在采用物联技术使人、物、设备、工具、工装、技术资料、保障设施、制品等制造资源具有感知交互能力成为智能制造资源的基础上,采用面向对象技术、数字化技术对智能制造资源的静态属性、运动状态、相关环境变化等进行统一数字化建模。在数字化虚拟生产线的基础上综合采用工作流、PETRI 网、并行工程等技术实现智能制造资源对象按照预定义的工作流模型和保障模式进行交互与协同工作,并动态感知生产线上的过程和状态数据,实现制造资源的协同保障。

3.1.4 精益制造可视化集成管控技术

兵器装备属于典型的多品种、变批量生产模式,一年中交货期不均衡、集中交货有严格的要求,对兵器装备的研制和生产的管控提出了极高要求。但在实际生产中,生产多靠人工调度控制仅能做到关注关重零件生产进度,很难做到全面掌控生产线的运行状态及平衡控制其运行,无法保证准时生产。在推行精益生产的过程中,需要对现行的生产管控方式进行改进,实现基于关键资源和瓶颈环节对各类生产任务进行灵活调度和平衡控制,这就要求对生产过程数据进行全面采集管理、分析利用,保证决策的科学性。

在针对生产线建立了物联制造系统的基础上,精益制造可视化集成管控技术综合应用虚拟仿真技术、MES 技术、智能视频图像分析技术等应用于生产过程管理与控制的体系和应用中。以生产线的数字化虚拟模型为基础,实现生产状态信息、生产数据及报表、生产现场信息等进行融合显示,使用户能够在真实和虚拟的环境中全面了解生产线状态、快速分析定位生产异常、直观查看生产线现场场景,实现对制造过程的可视化集成管控。这种管控模式将进一步支撑兵器装备制造向异地协同“云制造”

方向发展；并为实现基于统一集成平台实现分布式制造系统集成融合，从而提高兵器装备制造行业的整体管控水平提供重要的技术支撑。

3.2 数字设计/工艺/管理系统一体化集成平台技术

为解决兵器装备产品设计、制造、计划、控制、保障等环节脱节的现状，从数字化技术手段的实施应用上避免“信息孤岛”的出现，需要针对兵器行业形成统一的标准规范和技术体系，建立统一的集成平台，实现数字设计/工艺/管理系统的集成融合，为兵器装备实现数字化协同制造和数字化精益制造提供技术支撑。

数字设计/工艺/管理系统一体化集成平台技术研究内容主要包括：

3.2.1 兵器装备精益制造数字化技术体系

目前兵器装备制造行业缺乏统一的数字化技术体系。各企业已逐步开始选用不同的厂家、品牌、数字化技术系统等来解决产品设计、工艺、制造等环节存在的瓶颈问题。这样增加了系统集成融合的难度，阻碍了兵器装备并行设计、协同制造、集成管控、精益制造的实现。

兵器装备数字化精益制造数字化技术体系建设需要根据行业内数字化技术应用情况，结合兵器装备行业工艺类型复杂、生产类型流程/离散兼有、产品设计企业和制造企业分散、先进工艺装备少等特点，根据实现兵器装备“数字化精益制造”的需要，建立统一的精益制造数字化技术体系，为兵器装备制造行业进行数字化技术改造提供依据。技术体系包括数字化设计、数字化工艺、数字化管理、物联网制造、过程并行协同、数字系统集成、知识工程、人机工程、支撑环境建设等内容。

3.2.2 兵器装备精益制造数字化标准规范

目前进行兵器精益制造数字化建设缺乏统一的标准规范，使企业推行精益制造模式和实现数字化制造方式各异，阻碍兵器装备制造行业实现异地协同和整体管控，限制了行业整体制造能力的提升。

兵器装备精益制造数字化标准规范在对精益制造理论、方法、技术等进行工程化验证的基础上，针对精益工艺设计、精益生产线设计、资源协同保障、可视化集成管控等精益制造环节实现数字化的需求，建立统一的标准规范，保证兵器装备精益制造数字化系统的有效建立。标准规范包括不同类型企业精益制造实现标准、数字化精益工艺设计与仿真验证标准、数字化精益生产线设计与仿真验证标准、数字化资源协同保障标准、兵器装备精益制造

可视化集成管控标准、兵器装备设计/工艺/管理一体化集成标准、异地协同“云”制造标准等内容。

3.2.3 兵器装备精益制造数字系统集成平台技术

兵器装备制造行业企业目前已有的数字化系统存在软硬件平台异构、接口不规范、信息流转不畅、集成度低等问题，致使设计、工艺、管理等环节依然脱节。不能很好地支撑兵器装备精益制造数字化的实现。因此需要针对兵器装备制造行业数字化系统的特点和推行精益制造的需求建立统一的数字化系统集成平台，为兵器装备精益制造提供技术支撑。

兵器装备精益制造数字化系统集成平台技术基于先进的 J2EE 技术和 SOA 架构中间件研发平台构建企业服务总线，并对 CAD、CAPP、CAE、ERP、MES、PDM、CRM 等数字化系统提供的接口功能采用数据结构加 WEBSERVICE 的方式进行模块化开发和服务封装，形成服务组件，通过流程定制驱动实现数字化系统间数字流畅通和功能集成融合。数字化系统集成平台的建设需要服务器集群、网络数据库及数据中心等基础设施作为支撑，在兵器装备行业专用网络内，实现多系统多学科数据的云存储，并通过云计算、虚拟应用等技术，支撑兵器装备精益制造数字化生产线集成管控、设计/工艺/管理一体化、异地协同“云”制造等应用功能的实现。

4 结束语

目前，我国兵器装备制造行业数字化制造技术的应用处于初级阶段，相关技术体系、核心平台软件系统、标准规范及应用人才的缺乏，严重制约了兵器装备制造企业军工数字化工程技术的发展。如能保证应用实施的有效性并建立兵器装备数字设计、工艺、制造系统一体化集成平台，形成兵器装备制造数字化技术体系和标准规范，将为实现兵器装备制造企业数字化技术应用，最终实现“机械军工”到“数字军工”的重大转变提供技术支持。

参考文献：

- [1] 四华, 张存信. 我国兵器新材料技术的发展方向与重点[J]. 四川兵工学报, 2010, 31(7): 147.
- [2] 张训杰, 童伟国, 陈林静, 等. 先进制造技术与数字化制造[J]. 装备制造技术, 2007(11): 3-5.
- [3] 马洪文, 隋博, 高艳章, 等. 基于公理设计和创新问题解决理论的保障装备体系需求分析方法[J]. 兵工自动化, 2011, 30(2): 1-3.
- [4] 潘孝斌, 谈乐斌, 何永. 牵引火炮数字化改造[J]. 兵工自动化, 2011, 30(1): 83-85.
- [5] 罗垂敏. 数字化制造技术[J]. 电子工艺技术, 1-2.
- [6] 吴海平, 敖志刚, 张道坤. 工程装备数字化改造技术[J]. 兵工自动化, 2011, 30(2): 4-7.