

面向航天制造企业的数字化 工厂建设方案探讨

Digital Factory Construction Program for Aerospace Manufacturing Enterprises

首都航天机械公司 丁鹏飞 周世杰 王 贺 孙 莹 梁 丹



丁鹏飞

研究员,地面支持与发射技术领域集团公司级学术和技术带头人,2011年7月任首都航天机械公司副总经理。曾主持开展多项国防基础科研重点项目及集团重大工艺项目的课题研究工作,为促进航天数字化制造技术的发展做出了突出贡献。

18世纪中叶以来,人类历史上先后发生了3次工业革命,在经历了机械化、电气化、自动化之后,人类发展进入了空前繁荣的时代,正在迈向第四次工业革命,即工厂智能化(Smart Factory)。而作为工厂智能

通过对数字化工厂的理解及相关关键支撑技术的分析,提出面向航天制造企业的数字化工厂构建目标及总体建设方案,规划数字化生产线建设,系统策划实施要点,对航天企业的数字化制造体系进行统筹规划,并借助数字化、信息化手段构建新型数字化精益制造体系。

化实现的关键技术之一,数字化工厂是现代工业化与信息化融合的应用体现,也是实现工厂智能化的必经之路。数字化制造技术和信息技术的应用是支撑数字化工厂建设的关键。目前,以数字化协同研制、全生命周期产品数据管理、精益生产、柔性制造等为代表的先进数字化制造技术在国外航空、航天、汽车等行业得到了广泛应用,取得了良好的效益。这些企业已经开始着手建立自己的数字化工厂。近年来,随着任务形势的日益严峻、产品需求的不断变化、产品质量与可靠性的不断提升,航空航天制造企业正面临新的挑战,开始越来越重视数字化工厂的建设。因此,构建数字化工厂成为支撑航天制造企业跨越式发展的必然趋势。

对数字化工厂的认识

1 对数字化工厂的理解

数字化工厂(Digital Factory)是数字化制造技术集成应用的制造模式,是一种全新的制造能力或制造模式。数字化工厂借助信息化和数字化技术,通过集成、仿真、分析、控制等手段,为企业生产提供全面管控的整体方案;通过互联网将产品、资源、过程实现有机关联,将企业要素集成,统一协调资源,综合发挥能力,形成一个新的制造模式。

数字化制造是一个发展中的概念,有着十分广泛和深刻的内涵。目前,对于数字化制造的相关研究非常广泛,结合企业现状,可从以下3方面来理解。

(1)以制造为中心。

数字制造的概念首先来源于数字控制技术与数控机床,而数控机床是支撑工厂运作的重要基础。随着数控和信息技术的发展,每一台数控设备都成为工厂局域网上的一个节点,从而实现生产过程的自动化。

(2)以设计为中心。

由于计算机的发展以及计算机图形学与机械设计技术的结合,产生了计算机辅助设计(CAD)系统、计算机辅助工艺规划(CAPP),形成了CAD / CAPP / CAM的一体化。在面向三维的设计制造协同环境下,以三维模型数据为中心,开展产品数据管理,深入开展多企业、多应用之间的协作。

(3)以管理为中心。

随着企业需求规划(ERP)管理平台、制造执行系统、流程管理平台等的广泛应用,企业经营管理活动中涉及的物流、信息流、资金流、工作流等数据综合集成,实现企业管理业务的集中管理与应用。

2 数字化工厂的组成

数字化工厂建设涵盖虚拟制造、实体制造、软件平台、业务流程、基础环境、标准体系、技术体系7部分元素,如图1所示。其中,虚拟制造和实体制造是数字化工厂建设的核心,软件平台是数字化工厂建设的信息化依托,业务流程、标准体系、技术体

系为数字化工厂建设提供技术研发、工作模式、系统运行方面的支撑,基础环境为数字化工厂的运行提供基础应用保障。

3 数字化工厂具备的特征

数字化工厂是现代数字化制造技术与信息化技术相结合的产物,具有鲜明的特征。数字化工厂要融合“异地化、敏捷化、网络化、虚拟化、绿色化、物联化、智能化”的先进制造理念和技术,形成产品快速研制及批生产能力,具体特征体现在:

(1)具备数字化工艺设计能力,通过虚拟试验验证,减少实物验证,缩短研制周期,降低研制成本;

(2)具备精益生产管控能力,包括计划调度、制造资源、物流、供应链、质量等信息的有序管理;

(3)具备精密化、高速化和高效化的生产装备和稳定的工艺技术,形成数字化快速执行能力;

(4)具有快速组织生产、柔性制造和灵活应变的能力,即快速响应能力来应对产品“多品种、小批量、更新快、个性化”的特点,缩短产品研制周期,满足批量生产,形成研发及工业化制造能力;

(5)将产品数字化模型贯穿于设计、制造、装配、试验、生产管理、质量控制、物资供应、售后服务全过程,实现三维数字化研制目标,形成包含设计EBOM、工艺PBOM和制造

MBOM的基于模型的企业(MBE)能力体系,建成MBE企业;

(6)具备大数据管理能力,可解决生产研制中的数据源唯一问题,自动采集和管理生产过程中产生的制造数据,实现研制生产过程精细化管理,实现整体任务和零部件进度的监控与质量追溯,完成型号研制过程从经验决策向数据决策模式的转变。

数字化工厂建设的关键支撑技术

数字化工厂的一系列特征代表了其先进性,在一定程度上也决定了其关键支撑技术。数字化工厂涉及的数字化制造技术是先进技术的集合,涵盖了企业管理、产品设计、工艺设计、零部件制造、装配、物流管理等技术领域。其中,关键支撑技术主要包括虚拟制造技术、平台技术、工艺技术、集成技术4大类。

1 虚拟制造技术

虚拟制造技术主要包括生产系统设计仿真和工艺设计仿真两类。虚拟制造技术是数字化工厂建设的核心部分。针对产品的研制生产,以虚拟制造逐步替代验证性的实物制造,基于仿真工具开展仿真验证、迭代完善,优化工艺设计过程。

(1)生产系统设计仿真技术。

生产系统仿真主要包括工艺布局及物流规划仿真、生产单元及生产线仿真、虚拟现实。采用面向对象的方法,建立生产系统仿真模型,综合考虑产品工艺流程、工厂布局、生产资源等信息,对生产系统的结构布局、生产计划、作业调度及物流进行仿真,通过分析结果的综合与评估,验证结构布局的科学性和合理性、计划调度的可操作性,评估生产能力,分析并平衡设备利用率,解决瓶颈问题,为工厂及车间的规划、资源的配置与布局及调度计划提供科学依据。

(2)工艺设计仿真技术。

建立基于模板和统一关联模型

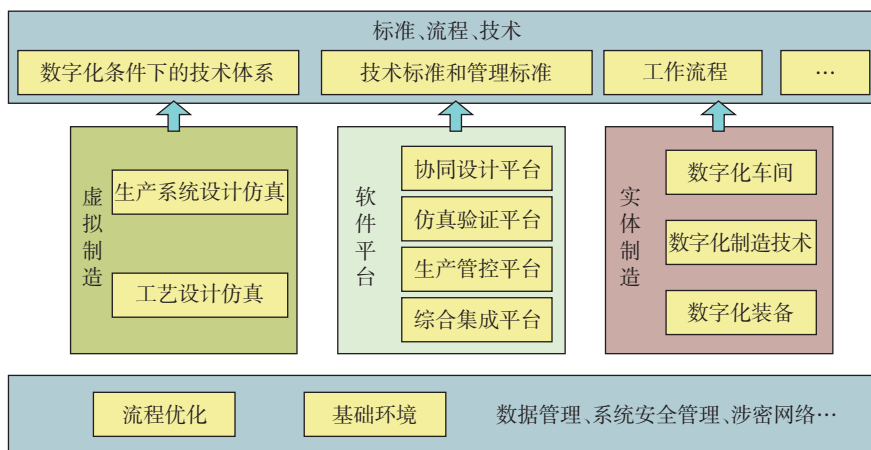


图1 数字化工厂元素

的多专业协同制造的一体化环境。通过对各专业仿真(机加、钣金、焊接、热处理、铸造、装配等)进行集成和封装,生成直接面向具体任务的应用界面,并以任务为驱动设计分析仿真软件的建模、后处理和求解过程。可快速进行工艺设计模型和仿真模型的建模,通过数据流管理可提高工艺设计过程的数据处理效率,进行多专业优化。集成设计环境能大幅降低设计、分析仿真软件的使用难度,减少设计、分析仿真软件重复使用过程中的工作量,并使设计、分析仿真软件实现共享,同时,也有效实现了软件技巧、知识和经验的固化和管理。

2 平台技术

围绕产品研制主线,面向工艺、生产、质量3个主要研制环节,建立相关的软件平台和硬件平台。

开展软件平台构建技术研究,做好软件平台规划,对主要业务流程及功能进行梳理及整合,形成统一的产品数据管理、企业资源计划、车间制造执行、业务流程管理软件平台,实现产品制造过程协同和数据交互,支撑型号产品的设计工艺协同、工艺设计、工装设计、生产计划管理、制造执行、数字化检测、数据归档管理等产品研制过程,实现面向生产主线的过程信息透明、共享。

开展软件平台相配套的、服务于航天产品数字化研制的硬件平台建设,重点开展硬件设备、网络环境、数字终端等环境建设,为数字化工厂建设提供安全、可靠、高效的运行环境。

3 数字化制造技术

数字化制造执行能力是数字化工厂建设的关键,按照专业相似和“方法”与“手段”相结合的原则进行总体规划,对制造技术和制造装备进行同步建设。通过对企业核心产品制造过程的梳理,数字化制造技术主要涵盖总装总测、贮箱焊接、壳段铆接装配、发动机部件焊接、机械加

工、铸造成形领域,面向自动化、智能化,重点建设以部段自动对接调整技术、智能化焊接技术、自动铆接技术为代表的数字化制造技术。

先进的制造技术需要先进的制造装备来支撑,在积极引进国内外先进设备的同时,也要大力开展航天专用大型工艺装备和非标设备的设计和制造。

4 集成技术

在数字化工厂的建设过程中,集成技术的集中体现是数字化生产线,核心是制造执行系统。数字化集成技术以计划管理为龙头,以作业执行为主线,以现场制造数据采集为关键,以生产进度为控制点,通过车间设备、刀具、人员等资源以及质量信息间的集成,实现生产过程制造数据

的全面贯通;为了实现数据的综合分析和展示,通过数据挖掘为生产管理、计划、调度、技术、设备、库房、质量、操作等各类人员提供丰富的统计分析。

航天数字化工厂建设目标与总体方案

1 航天制造企业的特点

运载火箭是航天制造企业生产的主要产品。运载火箭的产品特点要求运载能力高、产品体积大,具有“安全、可靠、环保、廉价”等技术要求。作为高新技术领域的前沿,运载火箭的技术要求很高,同时还具有研制周期长、零部件种类繁多、生产批量不大的特点^[1],这些都对运载火箭的制造提出了较高的要求。

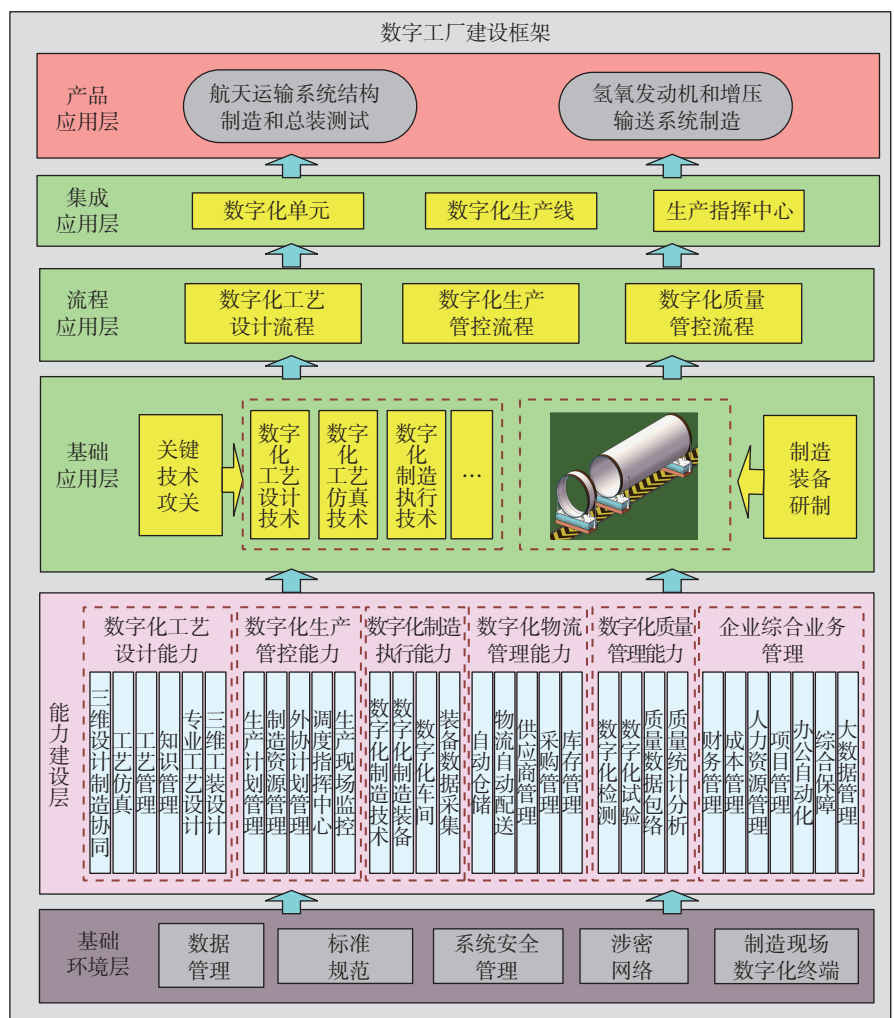


图2 数字化工厂建设框架

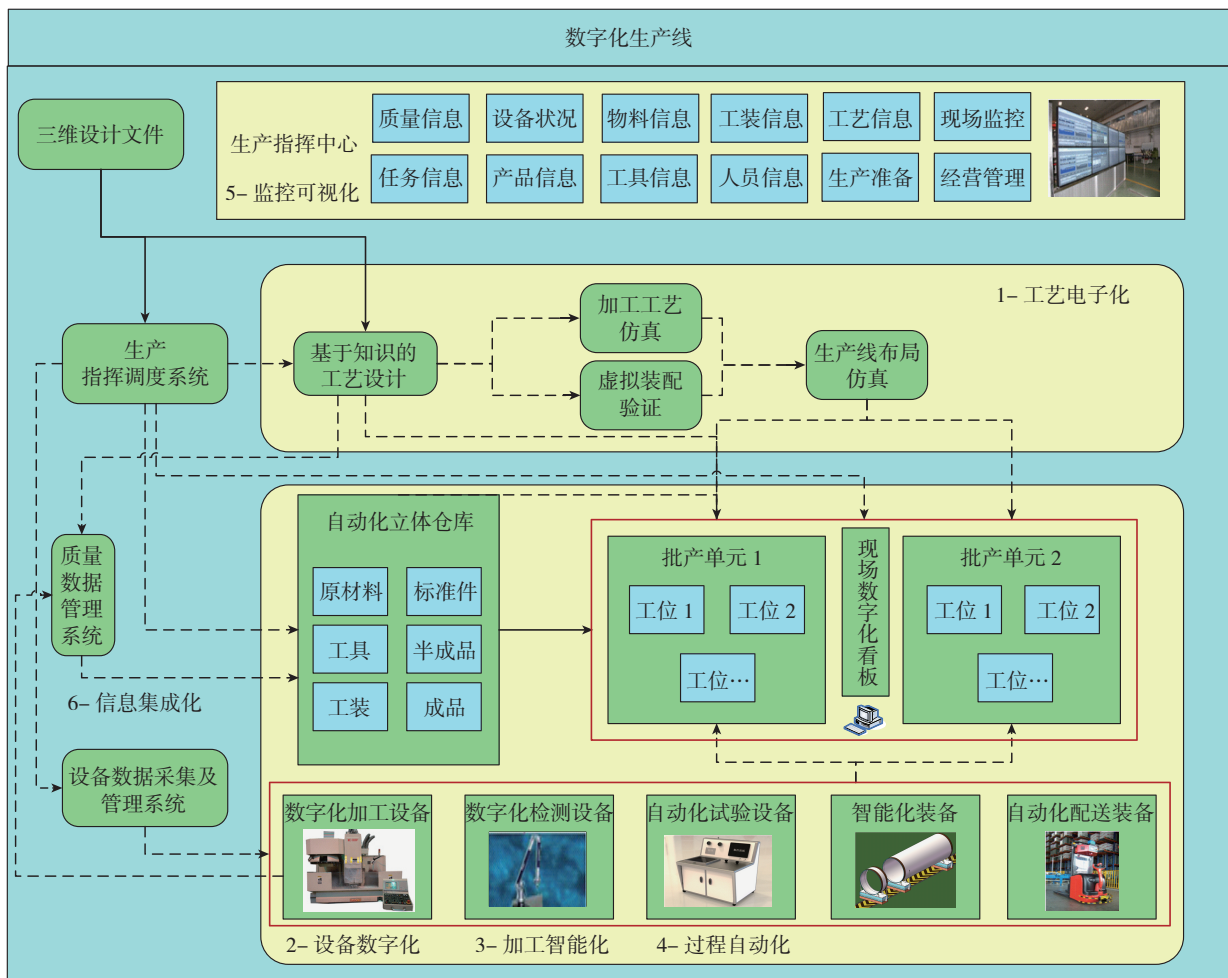


图3 数字化生产线工作模式

航天产品研制生产多为多品种单件或小批量生产,随着“多型号并举、研制与批产并存”的任务形式不断深化,呈现出典型的“多品种、变批量”生产特点。而且,随着配套产品的品种和零件数量增多,生产部门分布在不同的地区,生产组织具有跨地域、跨专业、跨单位的大协作特点。

2 建设目标

借鉴先进企业数字发展经验,推行精益制造的管理理念,创新航天产品研制模式,借助信息化技术和数字化手段,构建世界一流的数字化工厂,全面满足机械化和信息化复合发展要求,实现“工艺设计仿真化、加工装配数控化、检测监测自动化、业务管理信息化”,全面满足现役型号高效可靠批产、新型号和未来型号产

品快速研制的需求,支撑企业“制造总体”定位转型,全面引领航天制造业技术和管理发展,为打造世界一流的新型总装企业集团奠定坚实基础。

3 总体建设方案

按照机械化、信息化复合发展要求,紧密围绕企业核心产品生产制造活动,充分借鉴国内外先进的数字化制造技术和管理模式,搭建协同工作环境,建立基于协同、流程、知识、仿真的数字化工艺设计平台;以精益制造管理理念为核心,构建多地格局下的新型数字化精益制造体系;借助先进的检测技术和信息化手段,建立面向产品全生命周期的数字化质量管控模式,以信息化软硬件环境和数字化执行能力建设为基础,提高制造过程快速响应能力,缩短新型产品

研制周期,提高制造生产效率和产品可靠性,全面完成现代化数字化工厂建设。其总体建设框架如图2所示。

航天数字化生产线建设方案

数字化工厂是数字化制造技术在数字化车间的集成应用。以单元制造为理念,按照研制和批产两种模式进行建设。研制模式下,通过总装部装生产线+零件研制能力集群+配套能力平台的方式进行建设。批产模式下,采用总装部装生产线+配套能力平台的方式进行建设。

1 航天数字化生产线工作模式

在数字化生产线建设基础上,各制造单元、制造中心依据产品制造流程形成逻辑生产线。在各制造中心、制造单元内部,以产品为导向,以三

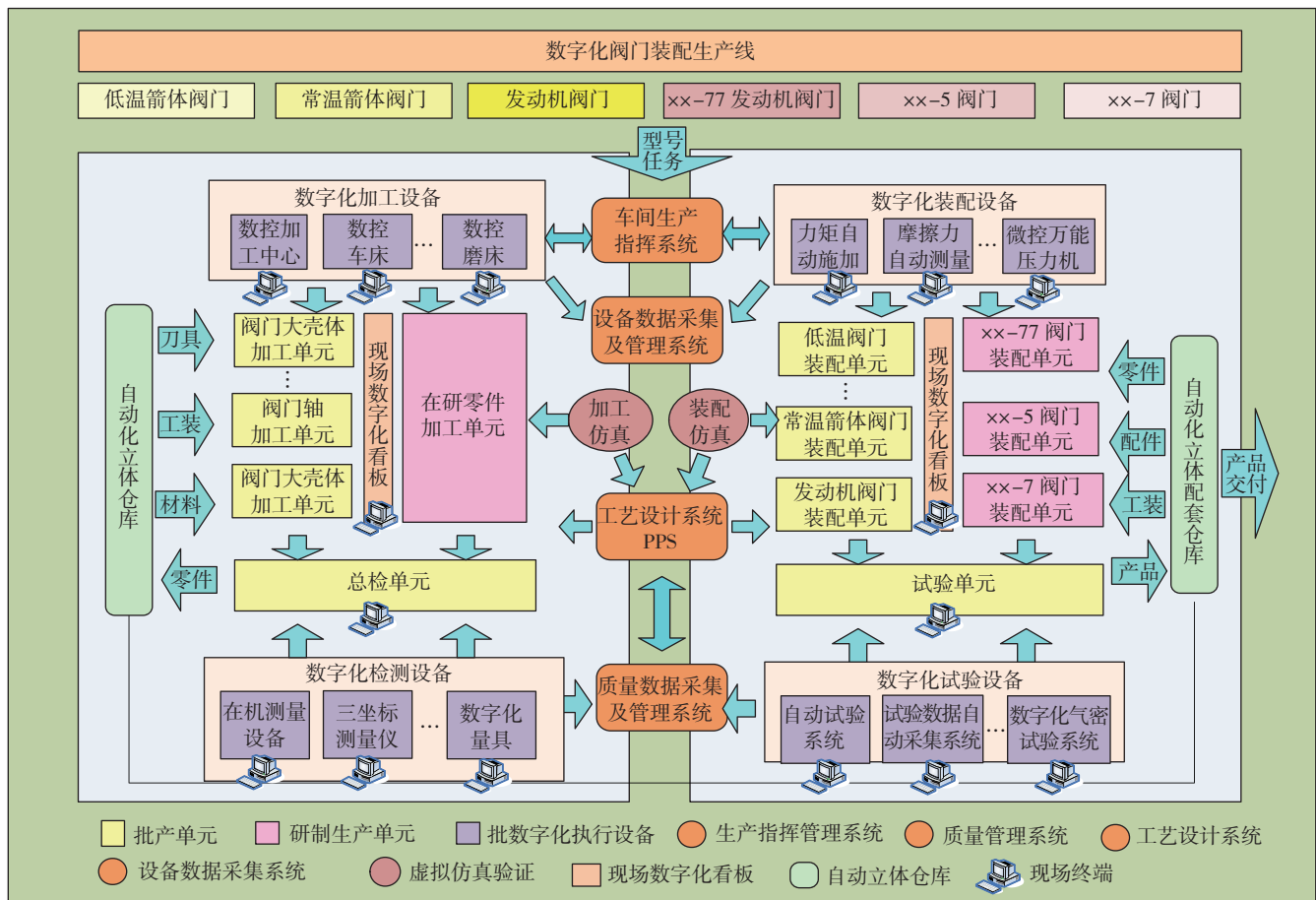


图4 数字化阀门装配生产线

维设计文件为基础输入,以单元制造理念为基础,通过先进软件应用与信息集成,结合车间设备、装备、刀具、人员等资源以及质量信息,基于实时电子看板和智能化设备的应用,实现生产任务和工作指令驱动下的车间现场数据的全面采集与信息集成应用,实现生产现场工艺电子化、设备数字化、加工智能化、过程自动化、监控可视化、信息集成化的目标,基于制造中心和制造单元间产品流和信息流转,打造精益、高效、智能的航天数字化生产线,如图3所示。

2 数字化阀门装配生产线

数字化阀门装配生产线将生产单元分为批产单元和研制单元两类,其中批产单元以精益生产为主要目标,研制单元以快速响应为主要建设目标。各制造单元通过配备数字化执行设备提高制造能力,包括数字化

加工设备、数字化装配设备、数字化检测设备、数字化试验设备4类。车间现场配自动化立体仓库,实现刀具、工装、原材料、半成品和成品的数字化管理。每个工位配置现场终端,用于接受生产指令、三维图纸浏览、在线工艺规程查阅、质量信息回填等。此外,车间现场通过配备一定数量的大屏幕,用以显示车间级生产指令和产品质量情况等。数字化阀门装配生产线如图4所示。

结束语

通过对数字化工厂的理解及相关关键支撑技术的分析,提出面向航天制造企业的数字化工厂构建目标及总体建设方案,规划数字化生产线建设,系统策划实施要点,对航天企业的数字化制造体系进行统筹规划,并借助数字化、信息化手段构建新型

数字化精益制造体系。数字化工厂建设将有效促进企业与上游设计单位的协同,提升航天制造企业工艺设计能力、生产管控能力、制造执行能力和服务保障能力。

在数字化条件下,基于三维模型开展工艺设计、工装设计、数控编程、数控加工、数字化测量等,可实现设计制造的一体化;通过数据集成、流程集成等相关技术,可实现生产过程透明化和集中的生产指挥调度;借助数字化装备,引进自动化检测等手段,建设数字化生产线,可实现生产全过程的数字化管理与控制,提高产品质量,缩短生产交付周期,降低制造成本,实现稳定、高效和重复生产。

参考文献

- [1] 袁家军. 航天产品工程. 北京: 中国宇航出版社, 2011. (责编 谷雨)