

# 面向航空发动机的数字化 生产线探索与实践

## Exploration and Practice for Aeroengine Digital Production Line

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 张森棠 付龙 贺芳 赵恒 马明阳



张森棠

研究员级高级工程师,中航工业发动机数字化加工首席技术专家。现就职于中航工业黎明,专业从事数字化制造技术研究工作。主要研究方向为高效能数控加工工艺及装备、工艺优化方法及实施策略、虚拟加工技术、快速编程技术和三维数字化工艺设计技术。主持科研课题 20 余项,出版专著 2 部,发表论文多篇。

当前,制造业再度成为世界发展的焦点,引发了新一轮工业革命的开端。美国的“再制造业”,德国的“工业 4.0”、中国的“中国制造 2025”无一不在众人的瞩目下如火如荼地进

新时期的航空制造业,急需借助本轮工业化提升的进程,通过助推产业数字化的协同发展、改善先进制造技术的研发模式等多个层面技术水平的共同提升,已应对产能倍增、产品优质交付所带来的严峻挑战。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.22.073

行中,以期抓住本轮全球智能制造发展的浪潮。航空制造业作为数字化程度最为密集的行业之一,正经历着一次前所未有的转型变革,新一轮的工业革命将是历史给予企业一次难得的机遇与挑战。

### 新时期制造业发展趋势

#### 1 日美欧高度重视智能制造

随着工业机器人、柔性化制造等技术的日趋成熟,智能制造已成为日、美、欧等国的航空制造企业的重点发展目标,日本早在 20 世纪 90 年代初就提出“智能制造系统 IMS”国际合作研究计划,投资超过 10 亿美元开展超过 100 个项目的前期技术研究。美国科学技术委员会联合工作组也在 2006 年制造研究报告中将“智能集成制造”确定为美国制造研发的三大重点领域之一,并于 2011

年正式启动“先进制造伙伴计划”,2012 年出台“先进制造业国家战略计划”,以加强智能制造的技术创新。同期欧盟在 2007 年实施了《第七框架计划》,以机器人和信息技术为基础,目标是利用智能制造实现制造模式的新革命,值得注意的是“欧洲 2020 智慧可持续包容增长战略”中明确提出重点发展以智能为核心的先进制造。

#### 2 德国开启工业 4.0 时代

为了积极应对科技产业革命,保障德国制造业基础地位,在德国工程院、弗劳恩霍夫协会、西门子公司等德国学术界和产业界的建议和推动下,德国于 2013 年正式开启了“工业 4.0”时代。工业 4.0 以智能工厂、智能制造为两大主题,首次提出了(CPS)赛博物理系统的概念,目标是建立一个高度灵活的个性化和数字

化的产品与服务的生产模式,纵向打通企业内部实时管理体系,横向连接各供应端商业交流服务流程。面对德国工业 4.0,制造业引发了新一轮深层次的思考,如图 1 所示。

深化高效、节能、节材产品设计创新、智能化工艺、服务运维等全生命周期绿色化模式,最终实现制造业的绿色智能化发展。“中国制造 2025”发展重点如图 2 所示。

换能力薄弱,致使航空零件研制周期过长,难以满足部队更新武器装备和发展民航运输的迫切需求,无论在单项专业技术还是综合技术水平上,与世界发达国家相比还存在不小的差距,新时期的航空制造业急需借助本轮工业化提升的进程,通过助推产业数字化的协同发展、改善先进制造技术的研发模式等多个层面技术水平的共同提升,已应对产能倍增、产品优质交付所带来的严峻挑战。

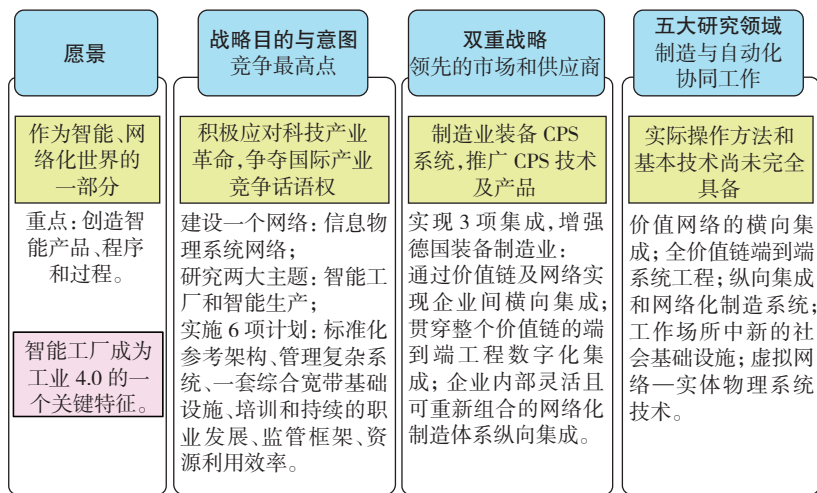


图1 工业4.0引发的思考

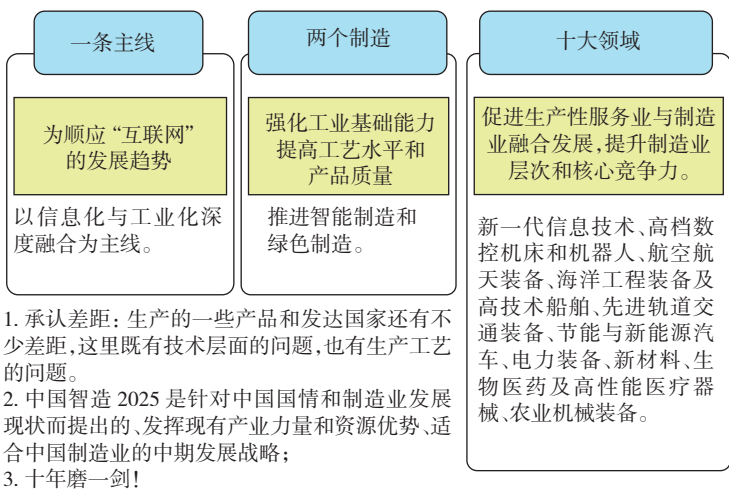


图2 “中国制造2025”发展重点

### 3 国家实施“中国制造 2025”发展战略

“中国制造 2025”是基于中国国情和制造业发展现状而提出的,旨在解决制造业基础能力薄弱、产品质量不高的问题,研发工艺库、材料参数数据库和制造过程核心软件产品;提倡结合互联网、物联网、大数据等新一代信息技术,探索、跟踪新兴产业发展的重大装备、智能机器人等核心技术,研制关键装备;改造传统产业,

### 产业化智能制造的定位与思考

#### 1 新时期航空制造业的机遇与挑战

航空制造业是应用数字化制造技术最为密集的行业之一,集成了大量的机电软一体化关键工艺装备,尽管多年来航空制造业已经有了良好的基础,但面对高科技和高投入的新型产品,仍显得储备不足,快速研制能力、批量生产和变批量生产快速转

#### 2 依托泛产业化同盟,实现集群效应最大化

随着产品复杂性和个性化程度的加深,产品的自动化程度随着开发周期的缩短和成本的压力明显增加,而且这一趋势还将继续下去,传统的单打独斗式的生产模式逐渐被技术产业化联盟所取代。联合学术界、产业界建立技术产业化联盟,通过实施长达 10~30 年的滚动式智能制造合作计划,联合开展智能制造产业化发展研究,实施集群化发展战略和国际协作发展战略,凸显整合效应、集群效应、熵变效应,目标直指克服柔性制造系统、计算机集成制造系统的局限性。现阶段国内企业产业化发展需要将自身融入泛产业联盟内部,充分借鉴和利用日本的专业工厂精益技术、欧盟的精密工程技术、美国的系统工程技术,彼此合作,相辅相成,构建属于自己的高技术生产生态系统。

#### 3 面向产业化的智能制造发展战略

智能制造是现阶段制造工业发展的核心主题,是现代工业化与信息化融合的应用体现,智能制造至少包括 3 方面的能力,一是理解、分析、解决问题的能力;二是归纳推理和演绎推理的能力;三是自适应环境而生存发展的能力,知识是一切智能行为的基石。

智能制造的产业化特征突出表现在技术转型、自适应控制和系统保障 3 个方面。智能制造要求生产制

造阶段 workflow 高度的智能化,目的是提高生产过程的可控性、减少生产线人工干预、及时正确地收集生产线数据、更加合理地编排生产计划与生产进度。智能制造与数字化制造的交叉渗透,可以在本质上破除由于工艺过程、工艺装备和生产节拍间逻辑关联性的缺失,而造成的整体加工效率偏低,能够实现企业资源效能的最大化,智能制造的发展如图 3 所示。

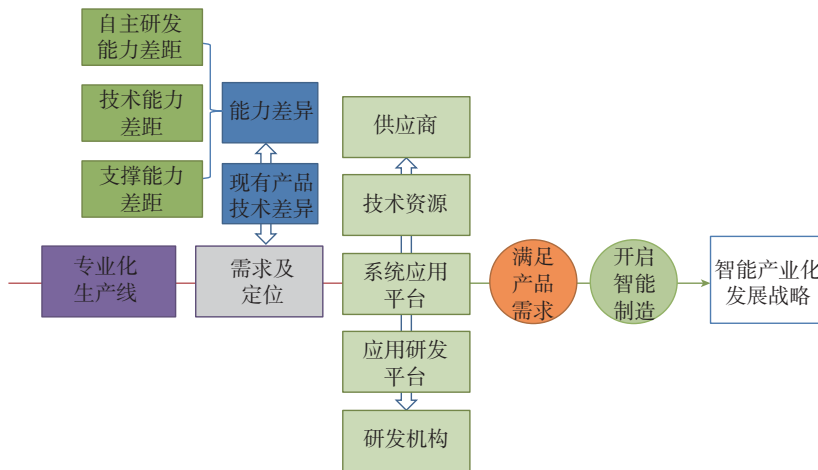


图3 面向产业化的智能制造发展战略

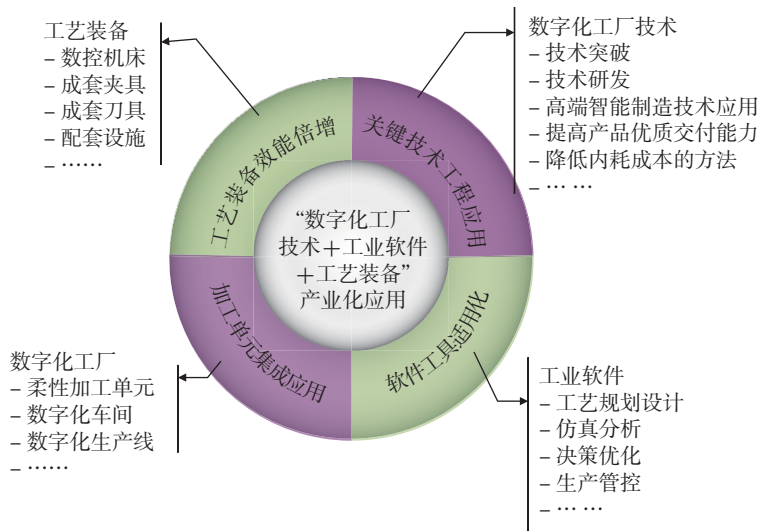


图4 “三位一体”数字化制造模式

#### 4 打造“三位一体”数字化制造新模式

生产线是智能工厂生态系统的核心组成部分,是智能制造产业化进程的重要载体,以整体智能制造产业化应用为主导的数字化生产线是

产业化升级的必然产物。发展以数字化工厂技术、工业软件和工艺装备“三位一体”的数字化制造新模式(见图 4),需要结合自身的生产研制特点,打造以 3D 工艺规划设计为主线的技术实施链、以自优化、自学习为主线的工艺优化链、以自适应控制为主线的生产作业链、以自监测、自诊断为主线的生产管控链等 4 条关键技术链。通过整合企业已有研发、

### 航空制造业专业化生产线建设探索与实践

#### 1 总体方案

专业化的生产线建设是一项系统工程,宏观上可以分为两条主线,一是以工艺为主线的工艺技术链;二是以运行为主线的加工技术链。

专业化的生产线需要解决底层理论基础到顶层加工单元之间各个环节存在的技术问题,构建产品全生命周期、企业全业务流程、产业全价值链的“三全”技术能力框架,打通虚拟与现实技术融合的技术壁垒,如图 5 所示。

#### 2 建设思路

遵循“改善已知+发明未知+需求驱动”的总体发展思路,着眼于智能制造工艺装备,立足于智能制造总成配套能力、系统集成能力、技术研发能力和运行保障能力建设,发展集数字化工厂技术、工业软件和工艺装备为一体的数字化制造技术体系。

(1)用好已有工业软件工具、关键工艺装备,充分利用企业现有制造资源,实现软件工具使用效能最大化、工艺装备利用效能最大化、型号研制技术风险最小化、企业综合制造能力最大化。

(2)变革研发模式,开发研发系统环境;预判研制过程,构建虚拟加工平台,研发实用化技术及工具;管控制造过程,建设智能化工厂、数字化车间、柔性制造单元生产模式。

(3)构建综合“工艺研发平台+虚拟加工平台+数字化工厂”于一体的数字化制造技术研发平台,如图 6 所示。

#### 3 建设内容

数字化制造技术研发平台作为企业实体研发机构,遵循“前沿技术研究-关键技术突破-技术集成验证-型号转化应用”的总体研究思路,在顶层设计和统一规划的基础上,构建工艺研发中心、虚拟加工仿

制造、应用、保障等资源,贯通离散式生产模式的各个关键节点,构建智能制造技术研发平台。进而形成整体优势能力,支撑核心技术的滚动式发展,进一步推动企业智能化制造技术转型的步伐。

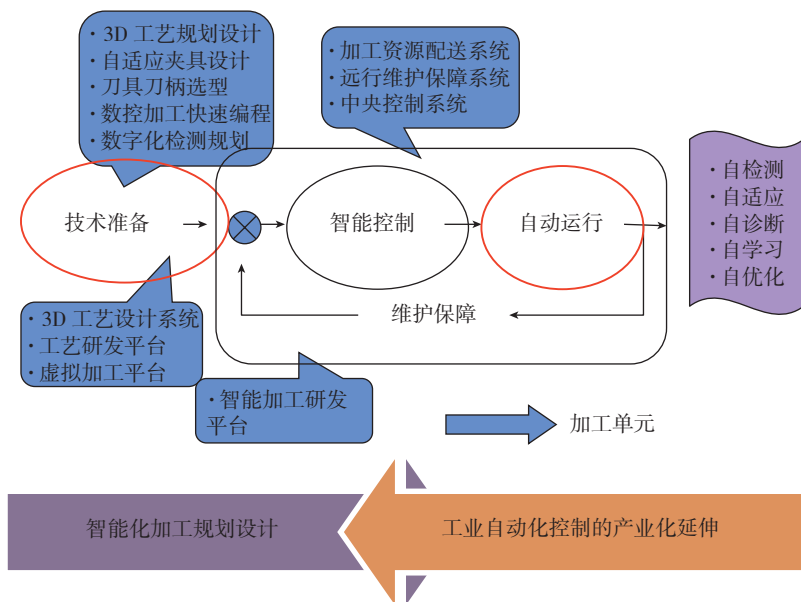


图5 智能生产线制造方式

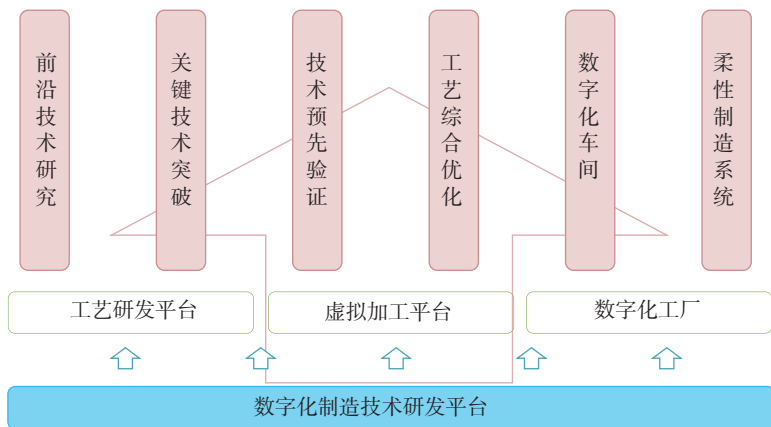


图6 数字化制造技术研发平台

真和智能工厂研发三大主体平台,形成智能制造综合维护保障条件。

(1) 围绕航空发动机制造体系发展规划和型号研制需求,通过开展新材料、新技术、新工艺的预先研究和应用研究,开发多专业融合的工艺技术研发平台,探索工艺研发中重点关注的技术研发能力和前沿制造技术能力。

(2) 针对不同功能的需求,构建以技术预先验证理念为导向的虚拟加工平台,在虚拟加工环境再现实际加工状态和加工瓶颈问题,在实际加工之前进行工艺过程仿真、分析和优化,预先发现问题、分析问题,并解决问题。

(3) 结合批产任务和研制能力综合保障需求,从综合提升企业核心能力入手,建设智能专业化生产线研发平台,重点解决生产制造需解决的问题,产品研制需突破的瓶颈问题和未来发展需解决的技术储备问题3方面的问题。

(4) 建立企业级综合管控模式,大力推进信息化与管理模式的融合互动,以管理信息化平台固化、追踪和显性化管理模式的变革路径,以管理模式的发展诉求促进信息化能力的不断优化与提升。实现资源和能力的整合协同、业务的快速发展、商业模式的不断优化,最终带动管理效能提升。

## 4 实施方案

基于行业已有的最佳实践,参考国内外的先进理念和经验,结合自身的生产研制特点,建设面向航空发动机产品专业化生产线,实现企业资源效能的最大化。

(1) 先进的生产管理理念。引入生产管理咨询,将工业4.0的核心思想以及生产管理理念,结合企业的当前生产模式,建立适应智能制造要求的精益生产管理模式,建成具有精益管理水平的生产系统。

(2) 高效的组织和业务流程。生产流程优化以精益价值流、并行工程和精细化管理为建设原则,实现生产流程和生产组织的重组、优化及管理制度的建设,达到提高流程效率、增加管理柔性、提高系统的快速响应能力的建设目标。

(3) 虚拟的布局仿真和优化。建立专业的生产线模拟布局和物流优化,涵盖车间布局优化、车间物流优化、工位布局优化。通过局域网或工业网络以及自动化控制手段实现先进设备网络化连接。

(4) 数字化的工艺和制造系统支撑。通过虚拟制造技术和并行协同工作模式,实现工艺设计、工装设计、装配仿真的全三维数字化研发。

(5) 专业化的生产线管理体系。建立适合企业生产方式下的专业化生产线管理体系架构,以此为依据支撑专业化生产线在企业的实施和具体应用,形成一套的专业化生产线应用的标准和管理规范以及作业指导性文件。

## 5 数字化工厂实践

典型零件智能制造从虚拟和现实两个纬度入手,通过工业互联网实现关联和集成,统筹安排协同设计制造、3D工艺准备、虚拟研发、数字化生产线、工业自动化控制、生产线运行维护与保障等6大关键领域,如图7所示。

第一个层次是智能制造的技术

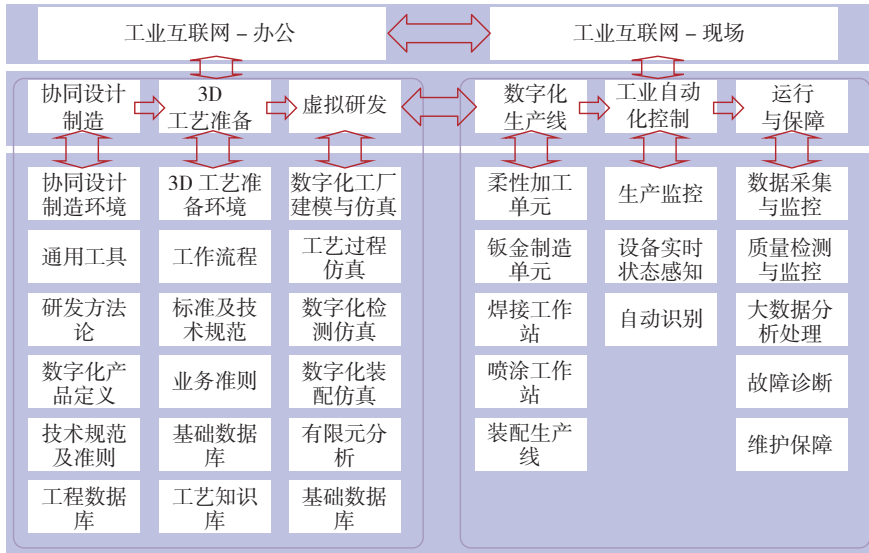


图7 工业互联网技术

动化控制和生产线运行与保障等3个关键领域,关注大数据处理、知识工程,以及生产线运行维护及保障等智能制造核心技术的产业化应用,目的是夯实工业基础,提高航空发动机产品整体制造能力。

## 结束语

新一轮工业革命的导火索源自于欧美日的利益驱使,作为技术/工业软件/工艺装备的领先者、标准和规则的制定者、泛产业联盟的核心成员,新一轮工业革命势必成为发达国家的重要发展战略。历次工业革命的警示告诉我们,在这种机遇与挑战并存的背景下,航空制造业只有顺应

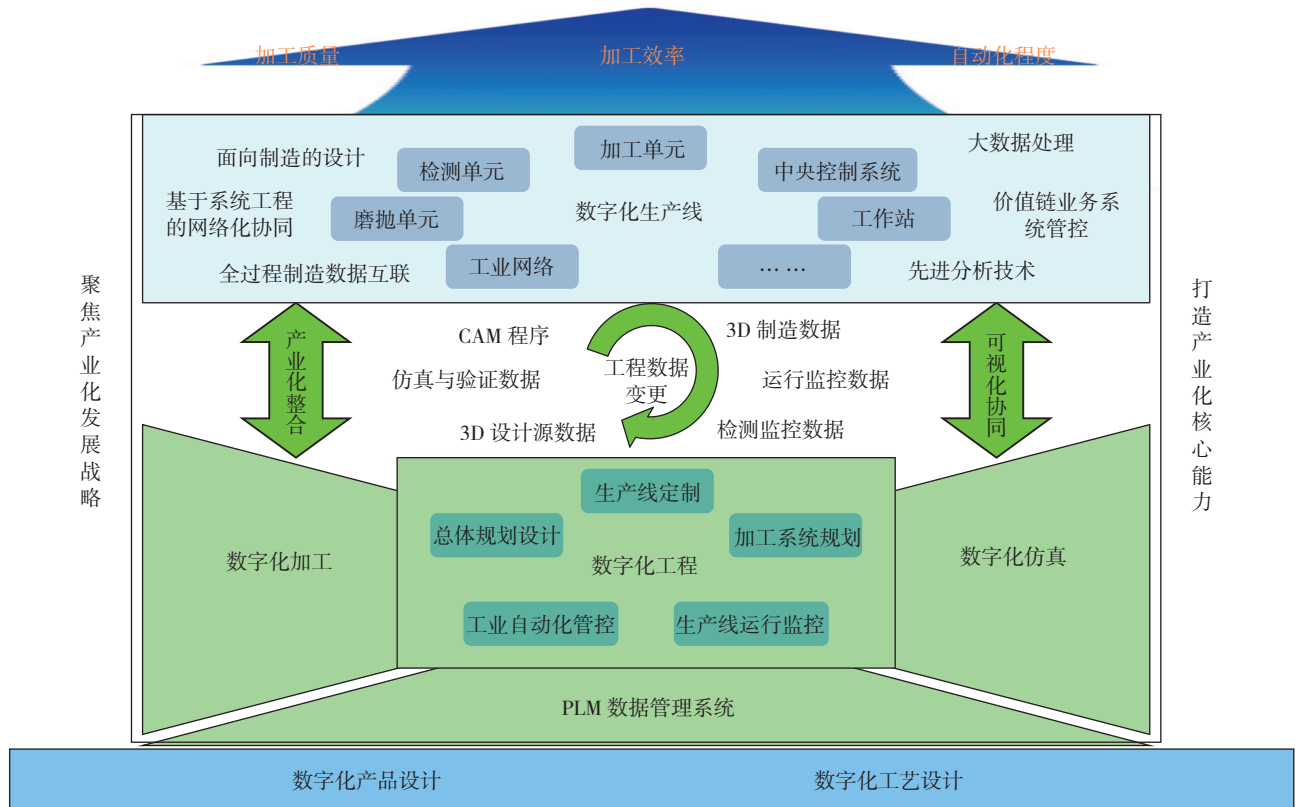


图8 数字化工厂实践

研发、先进制造技术应用和预先技术验证,并作为智能制造的技术和资源支撑平台,涉及协同设计制造、3D工艺准备和数字化仿真等3个关键领域,关注航空发动机产品智能制造研发自身技术的研究和积累,目的是夯

实智能制造技术基础;

第二个层次是智能制造在航空发动机产品中的具体实际应用,以数字化工厂建设(见图8)作为突破口,并将数字化生产线作为智能制造的应用环境,涉及数字化工厂、工业自

时代发展新趋势,大力发展并推进智能制造的产业化,才能帮助企业完成转型进化,最终实现行业内中国智造向中国智造的跃升。

(责编 宁军)