

数字化制造系统在某航空发动机企业的应用

撰文 / 沈阳黎明航空发动机（集团）有限责任公司 亢亚敏 庞丹

数字化制造系统是工厂实现全方位、高效率 and 穿透式管理的重要信息化手段，涵盖了项目管理、技术管理、制造执行管理和设备自动化管理等产品形成的全部过程。本文将重点阐述该数字化制造系统总体架构、业务流程、系统特点及技术路线。

一、引言

1. 项目背景

某航空发动机企业多年来在信息化建设取得了丰硕成果，在航发行业内起到了典型示范作用。企业实施了PDM、ERP、MES和综合协同平台，初步实现了PLM系统与ERP和MES系统的集成。这些技术的应用，有效支撑了企业的业务发展与技术创新。

数字化制造系统项目是信息化建设向数字化工厂推进过程中重大措施，建立基于现代先进技术的数字化制造平台，支持科研型号的快速研制，为批产线的数字化制造进行技术储备，最终全面提升企业的制造能力与科学管理。

2. 现状分析

航空发动机研发平台由三部分组成：设计平台、试制平台和实验平台，目前我国最急需的是试制平台。为了中国航空动力事业的发展，加强中国航空发动机试制平台建设，该企业孕育十余载，打造了科研试制中心。该部门以科研为主，生产具有明显的多品种、小批量、随机性大和变化大等特点，需要在项目管理、技术管理和生产管理三个方面进行创新和探索，借助信息化的管理手段，实现项目管理、技术管理和生产管理的自动化和透明化。

在科研试制项目管理方面，为了达到以最短的时间、最低的成本实现科研项目的快速研制产成的目的，通过“项目

团队管理”来适应科研试制小批量、低速率生产的特点。该模式是一种以柔性的组合，以最少的人员构成，采用各种先进的管理方法、技术、知识，对项目各要素和各阶段高度集成、持续创新性的管理模式。总之，具有“小团队，高集成，全过程，创新性，柔性化”等特点，通过和技术管理进行“一体化”的高度集成，对组织管理、范围管理、时间管理、成本管理、质量管理、人力资源管理、沟通管理和采购管理八个项目管理方向进行全面管理。

在科研试制技术管理方面，基于MBD的设计制造协同，技术人员参与设计的总体方案论证、结构设计、详细设计的工艺性审查，进行结构化、数字化工艺编制、工装设计以及数控编程和仿真。通过设计与工艺并行、工艺与工装设计并行、工装设计与制造并行及工艺与编程并行，提前启动生产准备，缩短型号研制周期。

在科研试制生产管理方面，以科研生产项目为目标，通过研制生产能力负荷分析、研制完工节点计划制定、“1”级里程碑研制计划下达、研制日班产和研制现场调度、工序检验和不合格品处理、研制数据收集及研制产品入库管理等，对产品制造的全生命周期进行综合管控，达成科研试制快速反应目标。

在现场执行方面，以研制任务为基础，实现快速的技术准备、生产准备为前提，应用了PDM/MPM系统工

艺编制、工艺审批等现有的功能。完成了制造资源管理、DNC、设备数据采集及监控等基本功能实施，并实现 DNC 与 PDM 系统的信息集成。

3. 建设思路

数字化制造系统总体建设原则为：分条线、同推进、多论证和备预案。

分条线：以其功能范围和实施主体主要分为如下 4 个条线：项目管理系统、PDM/MPM 系统、MES/MI 系统及系统集成。

同推进：4 大条线同时推进，同步实施，保证系统建设的完整性、统一性。

多论证：各个条线在同步实施的过程中，无论遇到任何的技术要点、难点、风险点，及时与技术专家进行会谈、论证，评估后方可继续实施。

备预案：各个系统在实施前，分别提前准备风险预案，重点关注安全性、稳定性、可靠性要求。

二、主要业务需求分析

1. 业务流程分析

研制生产线主要业务流程包括任务接收、工艺设计、工装设计、数控编程与切削仿真、数控测量编程与仿真、生产过程仿真、生产排程、工装准备、生产投料、加工操作、数据采集、产品检验及成品入库等环节。任务的开始和接收、项目进度监控与公司 ERP 系统和项目管理系统进行数据和信息交换，实现统一管理。关键业务流程有如下几项。

项目管理：提供工作计划制定、任务分解、资源协调及进度监控等功能。上接公司 ERP 系统、项目管理系统的主生产计划和主项目计划，下接 MES 系统的车间生产计划。

工艺工装仿真与优化：接收并执行公司下发的工艺、工装设计任务；依据设计所下发的产品设计数据进行工艺、工装设计及仿真优化，包括 NC 编程与仿真、CMM 编程与仿真。

生产管理与制造执行：接收并执行快反线项目管理下发的生产任务，依据工艺、工装仿真与优化下发的制造数据包（工艺路线、物料需求、工时定额、操作说明及检验要求等数据）进行车间加工计划排程、调度执行、设备控制、数据采集、统计分析、过程监控、物料管理和计划完工等生产线制造执行与生产管理工作。实做数据保存到公司工程数据

中心。

尺寸公差质量管理：接收设计所产品设计数据，获取设计质量要求，结合工艺质量要求定义质量规划，在产品制造过程中通过制造执行系统在关键环节获取质量信息，记录超差品的处理过程和数据，在统计分析的基础上提供改进或优化建议。实现质量信息在各相关部门间的共享和图形化展示。

系统集成：提供快反线信息化平台与公司 IT 系统的集成功能。包括快反线项目管理与公司项目管理系统的集成；快反线与公司 MES 系统的集成；快反线与公司 ERP 系统的集成。

2. 业务需求分析

(1) 项目管理需求。

作为型号工程研制阶段重要产品零部件的试制单位，由于试制零件种类多、数量少、要求高、首次制造和进度紧等方面的特点，需要在企业内部建立基于零部件的项目管理模式，来应对试制零部件业务特点，满足试制零件项目的立项管理、团队管理、里程碑计划管理、监控及反馈管理（包括进度反馈、质量反馈和成本反馈）。

(2) 技术管理需求。

作为试制分厂，当前正在使用总厂 PDM 系统支撑工艺设计工作，为了提升工艺设计效率，会在二级工艺流水的管理、导航式工艺设计管理模式、制造工艺资源库管理、全三维工艺设计、零部件工序尺寸公差规划管理、三维工艺仿真与优化、开工前检查管理、集成化质量检验准备及分析管理、转批产技术管理和试制加工记录管理方面进一步深化应用。

(3) 资源管理需求。

基于工具库管理是对设备、工装及刀具等资源的维护保养、借用、维修和资源状态等进行管理。通过对制造资源的有效管理，实现资源合理利用。

(4) 生产管理需求。

计划管理主要包括了生产计划的接收、完工节点计划管理、1 级里程碑计划管理、计划能力分析、生产过程监控等。计划能力分析包括对设备、人员等能力的分析。

(5) 现场管理需求。

现场管理包括物资投料、零件加工及交付过程管理，并对过程数据进行实时采集、生产物资管理、电子看板功能和产品追溯管理。

(6) 检测管理需求。

检测管理包括检测设备的自动数据采集和工序检验。需要对 CMM 测量仪、白光、手持测量仪器等，按照预先定义的数据采集要求，获取产品质量数据并上载到质量管理模块中。需要依据工艺包信息形成包含零件工序，各工序检验指标项及指标检验标准的检验指导，作为工序检验的参考依据。

(7) 数控程序管理与数采。

通过 DNC 实现对数控加工程序编制、更改、审批，以及数控加工程序上传下载管理。通过 MDA 采集数控设备数据并传送到 MDC，实现设备远程监控和分析。

三、总体方案设计

1. 系统目标

数字化制造系统的目的在于利用先进的数字化制造技术，打造具有工厂自身特色的数字化科研试制平台，实现生产、技术、质量和经营等业务的全面信息化管理，并给管理人员及领导提供决策支持。实现快速制造，支撑以项目制造为纽带的业务的顺畅运作，从接单、工艺设计到向批产转移交付、以及提供后续技术服务。信息系统将承担神经系统的作用，是实现顺畅运作，科学和优化决策的必要手段。打造技术创新能力体系。转化数字化制造技术，向批产线转化关键件快速工艺、制造模式；转化先进数字化制造体系和管理模式。

2. 总体方案框架

数字化制造系统总体架构充分考虑了工厂的实际业务需求，同时也考虑了与 PDM、MPM 和 ERP、MES 等系统的信息集成。数字化制造系统以“全数字化工厂”为目标，主要内容包括 6 个部分：项目管理模块、技术管理模块、制造执行模块和 DNC/MDC 模块，整个系统与公司 ERP、其它 MES 等信息系统实现有效对接，实现数据、流程和业务的深度集成。

四、主要技术特点

1. 将项目管理与离散性生产管理相融合

数字化制造系统将项目管理与离散性科研生产管理融合在一起，横向由项目管理贯穿于科研生产的每一个业务，纵向是按照部门分工的科研生产的精细化管理。项目管理关注每一项任务的在全生命周期变化情况，离散性科研生产管理

关注每个部门内部业务的精细化与合理化。

2. 技术与生产的“一站式”管理

技术数据根据生产计划情况直接从技术系统传递到车间现场和设备中，设备执行过程数据事实反馈给生产管理与技术系统。达到技术准备时提前参考现场数据，现场生产严格执行技术要求，实现生产技术“一体化”。

五、应用情况

1. 应用情况介绍

数字化制造系统（一期）项目已经完成实施，制定了数字化制造系统总体方案及系统详细设计方案，建立了试制部门数字化制造系统的基础框架，实现了制造资源管理、DNC、设备数据采集及监控模块在工厂模型上运行，并取得了明显的应用效果。下面简要介绍该系统的应用情况。

(1) DNC 应用：DNC 系统实现数控程序从 PDM 系统到数控机床“一体化”管理，所有数控机床通过 DNC 系统给数控机床传输加工程序。主要特点如下。

◎ 采用技术先进：采用了国际上最先进的“以太网口”通讯技术。

◎ 程序传输速度快：数控程序传输速度达到了其它军品厂 DNC 系统的速度的 100 多倍（例如：其它军品厂传输一个 2 兆的程序至少需要 2 小时，而我们只需要 1 分钟就可完成）。

◎ 与 PDM 系统完全集成：DNC 系统完全实现了与 PDM 系统无缝隙集成，程序传递到设备加工前需要在 PDM 中进行校验审批，保证了数控程序的准确性，利用技术手段杜绝了加工程序随意改动的现象。

◎ 加工程序可回溯性强：PDM 系统中管理的存档的数控程序与机床中加工的数控程序完全一致，在任何时候都能回溯到零件加工时数控程序的状态。

(2) MDC 应用：MDC 系统已经采集到机床加工数据 17 项，不仅实现了数控机床远程监控，而且通过采集的数据能够客观而全面地记录零件加工最终的执行过程，为科研试制个方面工作的改进落实提供数据支持。主要特点如下。

◎ 机床远程监控：MDC 能时时将数控设备加工的各种数据传递到远程的任何一台计算机上，工艺人员和生产管理人员在办公室就能实现清楚地了解到每一台数控机床的当前情况。

◎ 机床故障分析：通过采集到的机床故障信息，能够分析机床各种故障的规律，为机床维护保养和故障预警提供数据支持。

◎ 加工参数分析：通过采集到的加工参数，能够分析各种零件的加工规律，为新件研制中最佳参数选择提供支持。

◎ 刀具寿命管理：通过数据采集，实现现有刀具寿命采集，不仅能够管理到每一把刀具的当前寿命，而且能够分析不同加工材料和不同加工参数对刀具的消耗情况，为刀具采购提供数据支持，做到刀具精细化管理。

(3) 在线刀具管理：对刀具网络化管理是通过 DNC 网络技术实现对刀具与数控机床直接互通，达到对刀具数据自动采集，自动传递到相应机床的制定刀库。主要特点如下。

◎ 对刀具数据管理自动化：实现对刀具自动采集对刀具数据并自动传递给制定机床的刀库中，代替人工抄写对刀具并手工录入到指定机床的工作，不仅提高了工作效率，而且起到了很好的防错作用。

◎ 为刀具选用提供方便：刀具返磨后可通过对刀具测量刀具的当前尺寸，并自动传递到工具室，技术人员随时可以查询到所需要规格的刀具，不仅可以提高刀具利用率，而且可以为刀具返磨提供历史经验分析。

(4) 制造资源管理：制造资源系统的建设不仅适应了刀具管理项目化的要求，而且实现了刀具全生命周期、精益管理的目标。特别是在刀具管理中全面应用了二维码技术，实现一刀一码的精细化管理。

◎ 管理透明化：全面管理了所有刀具，管理人员和工人可通过自己的计算机随时查询到所需刀具数量、状态（现存、借出和返磨等）、具体位置。实现了工具工装台帐信息的共享，提高了工具工装管理效率。

◎ 刀具项目管理：将不同种类、批次的刀具分到不同项目中进行管理，并通过系统进行控制，只有加工某项目零件时才可以借用此项目刀具。避免滥用刀具的情况发生，并能计算出每个项目加工过程中刀具的使用成本。

◎ 借还快捷：所有工具均粘贴了二维码，只要扫描一下二维码（只需几秒）便可完成借还管理。不再需要手工登记资料借还记录，提高了工作高效、并保证记录准确。

◎ 库存报警：对于超出了最高库存或低于安全库存的工具，系统能够自动提示。便于管理人员随时掌握库存的警戒状态。

2. 系统持续建设完善

数字化制造系统（一期）仅仅是打基础，没有实施生产、技术等重要的功能模块，由于没有将现有的设备运行情况数据、刀具管理数据与科研生产结合到一起，所以没有发挥出更大的效益（如：各种材料不同加工参数对加工质量、加工效率、刀具消耗的影响，生产计划执行过程的分析等）。

六、项目实施总结

数字化制造系统只有在充分理解业务需求的情况下，采用成熟、适用的信息技术手段，使业务流程最大程度的在信息系统内被固化、优化，使业务数据得以标准化、规范化，从而支持工厂各个层面对信息系统、数据的操作和分析要求，最终使业务能力提升。

以项目团队的组织形式开展工作，该系统基于产品全生命周期管理的理念，融入国际上先进的信息化管理模式，结合工厂自身业务的实际情况，通过实现以技术实现为核心的业务信息自动化，服务请求与处理流程知识化，以项目团队的管理模式，提升科研生产能力。系统上线运行后，工厂生产管理得到了显著提升，实现了基于业务数据的决策支持。

七、结语

在数字化工厂（Digital factory）的概念被越来越多的企业所接受的今天，建设数字化工厂势在必行，数字化制造系统让管理者实现全方位的、高效的、穿透式管理。以数字化制造系统建设为契机，可以优化管理流程，提升创新能力，提高工作效率；利用先进数字化制造技术可以优化实际生产过程，在不影响生产效率的前提下，细化管理的粒度，提升生产管理能力。在即将进入工业 4.0 的大时代潮流中，数字化制造系统的建设显得特别紧迫，也是制造企业今后生存和发展的重要保证。IM