

智能工厂框架下的 MES 系统构建与应用

北京航天长征飞行器研究所 王锦程 谢蕾 李欣冀 赵振杰

本文基于研究所近年来形成的智能工厂体系，重点介绍了该体系中 MES 系统的构建与应用情况。

一、引言

研究所主要以飞行器的设计为主，产品的设计和少部分零部件由北京总部完成，部分产品及器件的供应则由全国各地的配套厂商完成，产品测试及总装则是在研究所的外协配套工厂开展，在形成了跨区域的全国协同研制体系的同时，也表现出了生产环节对外协厂商的依赖性。与此同时，外协厂商的地域分布及研制产品的特性等因素，也导致研究所无法通过一体化信息网络进行全局协同管理。近年来，在市场

竞争环境日益严峻的形势下，外协质量难以有效保证，外协信息沟通效率不高且响应不迅速等问题成为了制约研究所快速提升竞争力的重要因素，大力提升自身的制造生产水平的成为了迫在眉睫的问题。而研究所传统的产品生产模式主要依靠员工手工操作设备与填写纸质记录单来完成，生产过程与进度管理则主要依靠调度人员的现场管理经验，生产过程及其数据、产品履历和产品质量信息等均无法进行有效的追溯。基于这种现状，研究所组织团队对生产现状进行分析、调研并论证智能工厂架构，规划相应的实施途径，形成了以 MES 系统为核心的智能工厂建设思路。MES 系统（制造执行系统）旨在建立与车间设备的连接，采集与分析制造过程

力。同理，钻孔时，开始损坏时钻头对工件的切向力为 452.8257N（钻头规格为 $\phi 4.75$ ）。扭转时，开始损坏时夹头边缘对工件的压力为 258.091N，而手柄施加的力为 30.7251N（换成 1045 钢则是 150.7804N）。

综上所述，主轴在满足使用需求上是可行的。主轴的材料应为 45 钢，可对键槽和圆柱面上应力较大拐角处进行激光加热表面淬火。

九、结语

本文通过 SolidWorks 建立手动转锯扭一体机三维设计模型，并直接应用 SolidWorks 软件中的 SolidWorks

Simulation 分析计算模块手动转锯扭一体机主轴进行了有限元静力学分析计算，对于主轴的静力分析以及模态分析，文中所采用的方法操作性较强，静力分析得到的云图清晰地显示了主轴在切削力作用下的受力及其薄弱区域，用于校核主轴刚度，分析计算结果表明主轴强度能够满足使用要求，分析的可靠性，以及实用性，对整机设计优化具有一定的参考价值。

的数据以供最佳的生产流程控制与可视化。该概念于 20 世纪 90 年代提出，优势在于它是车间和管理之间的接口，通过信息集成实现生产和业务的信息传递及对生产过程的优化。MES 系统的应用改变了传统依据纸质材料指导生产、采用纸质文件进行人工作业流转的生产模式，将生产制造过程从线下离散管理转变为在线集成式统一管理。

2015 年，研究所基于对设计环节的数据特征、生产环节的产品生产过程、产品数据以及管理规范等内容的梳理构建了 MES 系统，并应用在了产品生产中。在 MES 系统的帮助下，生产过程得到了有效的管控，订单、任务、设备、人员与物资等信息条例清晰，工作安排也能根据任务紧急情况进行及时的调优，极大的提升了产品交付的效率与产品质量。2016 年，采用 MES 系统管理的车间因其全面的信息化与高效的自动化等特色，获批全国五星级生产现场；且其合理调配资源完成的“天鸽”飞行器成功完成长征七号运载火箭首飞搭载任务，取得了满意效果。

二、以 MES 为核心的智能工厂框架

在国际金融危机之后，欧美等国纷纷推出“再工业化”战略，力图抢占新时代国际竞争的制高点。而随着德国“工业 4.0”，美国“工业互联网”，“中国制造 2025”等战略的相继提出，制造业的地位也越来越凸显，成为了当前大国、大企业提升核心竞争力的必由之路。用户使用的是产品，产品来源于制造，因而面向制造的研发成为了当前研究所产品研制理念的转型方针。从构建以 MES 为核心的智能工厂，再到由智能工厂驱动的智能制造体系，是研究所未来战略部署的主要方向。研究所智能工厂框架如图 1 所示。

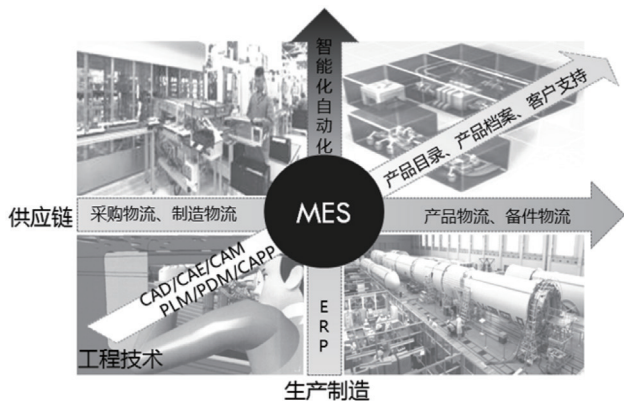


图 1 以 MES 为核心的智能工厂框架

以 MES 系统为核心，将研究所现有的综合财经管控系统、PLM 系统、物资采购系统、质量管理体系及生产过程与售后保障系统进行融合与衔接，为所级、部门级领导提供从产品设计到生产，再到维修保障的全生命周期基于综合数据的分析、建议与可视化条件，为领导的决策提供数据支持。具体包含三个方面的内容。

(1) 生产制造：依据产品研制计划 MES 系统细化计划并分配到具体设备或操作人员，结合详细的工作排布，实时监督生产进程及异常情况的发生，并采取预置策略进行动态调优，提高生产现场的执行效率。

(2) 供应链：完善采购与制造物流体系，提高外购件、自制件及外协材料、物料到达生产现场的准确性，并对扣料、在制品及成品等进行精细化管控，提供数据支持的生产预判和缺料预警功能，提高物资供应的运转效率。

(3) 工程技术：面向制造的研制过程中，产品的设计是围绕最终的产品开展，从 EBOM、SBOM、PBOM 再到 MBOM，围绕产品设计、性能仿真、设计工艺协同、工艺制造的协同及装配仿真，调优用户的使用体验与功能指标的均衡性。并在这一系列 BOM 传递过程中，建立产品的履历台帐，为最终交付用户及后续保障提供数据支撑。

在智能制造时代，制造是产品研制的核心，MES 不再只是连接 ERP 与车间现场设备的中间层级，而成为了智能工厂框架三个主线的关键点，是实现智能生产的核心环节。

三、MES 系统的构建与应用

结合研究所当前产品的研制现状，梳理了产品生产的主要过程，并与 MES 的功能进行了对应，如图 2 所示。并基于产品生产过程，形成了 MES 系统的功能框架体系，如图 3 所示。MES 系统的功能框架分为资源层、服务层、功能层和展示层。其中资源层主要为支撑系统运行的底层软硬件设施，如服务器、数据库等；服务层主要包括操作系统层面及软件底层提供的系统全局功能，如日志、权限、角色及接口等；功能层是 MES 系统的核心，包括了以 BOM 管理、生产计划管理、开工报工管理等为代表的十多项主要功能；展示层主要为领导、管理人员及操作工人提供查看、操作系统的界面。

1、MES 构建过程

以 MES 系统功能框架为基础，研究所启动了软件系统

的构建工作，主要过程包括需求分析与方案设计、二次开发与功能测试，综合联调与用户测试及应用完善与总结验收四个阶段的工作，具体如下。

(1) 需求分析与方案设。对研究所生产车间的工艺、生产、物料、检验等业务进行业务调研，并结合业务调研工作开展需求分析，经过内外部专家评审，形成调研与需求分析报告。在调研与分析报告的基础上，开展系统构建的方案设计工作，并同时搭建原型系统对部分功能进行预配置，验证其设计方案与实际需求场景的匹配程度。经过方案细化、原型实现、功能确认等多次迭代，最终完成设计方案报告，经过内外部专家的综合评审，形成指导系统建设的建设方案。

(2) 二次开发与功能测试。基于设计方案开展部分功能的二次开发工作，主要包括数据和流程的动态建模、用户使用界面的个性化配置及底层相关功能逻辑的开发实现等。在二次开发的过程中，同步编写测试大纲，准备相关的基础测试数据，实现开发、测试、调优以及完善的流水线迭代作业，提高功能开发的效率。功能开发与测试完备后，开展系统级全局功能的综合功能测试，解决功能交互时出现的问题，并形成二次开发与测试报告，作为后续工作的参考。

(3) 综合联调与用户测试。基于功能测试满足要求的结果，开展系统的软硬件协同联调及终端控制设备的综合调试工作，确保时序工步、通信接口与控制精度等达到使用要求，对服务端的响应性和客户端的操作性进行综合测试，确保系统满足并发访问压力、数据传输时延、前后台异步处理一致性等方面满足使用要求。完成综合调试工作后，开展系统使用培训，并在培训的过程中结合系统的模拟使用工作，经一至三个月的模拟试运行，检查功能、性能的指标符合度，在完善测试中出现问题的同时，形成综合测试报告。

(4) 应用完善与总结验收。基于试运行正常且主要问题得到有效解决的结果，开展正式系统的部署、系统配置信息的迁移及正式数据上线运行等工作。正式运行中实际遇到的情况会比测试运行复杂，需对正式运行中出现的记录、处理与完善，对于研究所来说，在系统正式运行一个月后，认定系统满足使用要求，达到了建设的目标，进行了总结验收。

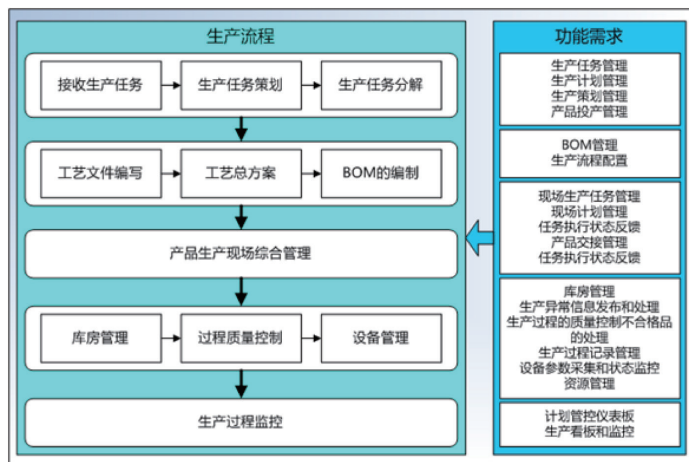


图2 产品生产流程图

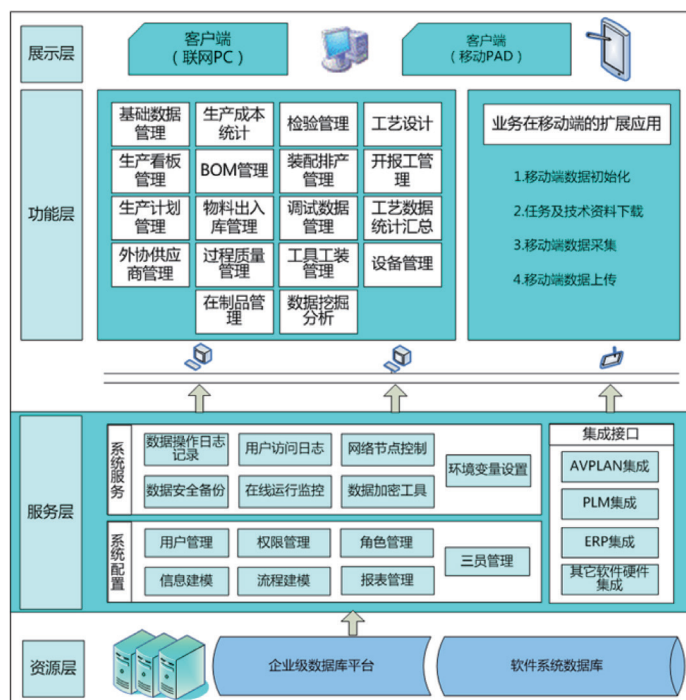


图3 MES系统功能框架图

2、MES主要功能

研究所对生产过程及其对应实现的功能进行了细分，功能之间的关联关系与交互参数通过详细业务流程进行了描述，确保了功能的模块化与接口关系的规范化，同时细分的功能又能在后期调整中灵活的增加与修改，提升了系统整体的敏捷性。MES系统功能众多，部分主要功能包括生产策划、产品投产、BOM、任务管理质量控制、外协管理、可视化

与移动端的应用等，具体如下。

(1) 生产策划管理。生产策划是按生产计划安排，定期向生产执行部门下达生产指令的过程，实现了生产计划的定期编制、动态更新和网络化发布及投产流程电子化等功能，提高了生产计划制定/发布、产品投产的规范性和业务效率。

(2) BOM 管理。BOM 是零件加工、产品组装的依据，是生产任务的明细组成实体，为生产整个业务的开展提供数据来源和支持。合理的 BOM 结构能够降低生产规划复杂度，细分大型产品的组成结构，优化产品生产的调配策略。

Item ID	Item Name	Item Type	Item Quantity	Item Unit	Item Description	Item Status	Item Action
Item 1-1	Item 1-1	Item 1-1	2	2	Item 1-1	Item 1-1	Item 1-1
Item 1-2	Item 1-2	Item 1-2	5	5	Item 1-2	Item 1-2	Item 1-2
Item 1-3	Item 1-3	Item 1-3	2	2	Item 1-3	Item 1-3	Item 1-3
Item 1-4	Item 1-4	Item 1-4	1	2	Item 1-4	Item 1-4	Item 1-4
Item 1-5	Item 1-5	Item 1-5	2	2	Item 1-5	Item 1-5	Item 1-5
Item 1-6	Item 1-6	Item 1-6	2	3	Item 1-6	Item 1-6	Item 1-6
Item 1-7	Item 1-7	Item 1-7	3	3	Item 1-7	Item 1-7	Item 1-7
Item 1-8	Item 1-8	Item 1-8	5	4	Item 1-8	Item 1-8	Item 1-8
Item 1-9	Item 1-9	Item 1-9	2	5	Item 1-9	Item 1-9	Item 1-9
Item 1-10	Item 1-10	Item 1-10	4	3	Item 1-10	Item 1-10	Item 1-10

图 4 BOM 管理示意图

(3) 产品投产管理。产品投产是指将生产执行部门下达的生产订单转化为任务的过程，结合订单类型、投产与生产计划以及制造 BOM 不同，可分为成套投产和零星投产。成套投产建立了与生产计划的关联关系，已投产的项目不再重复投产，但可以更改完成日期。零星投产是对成套投产中的遗漏项、报废项以及临时项投产，投产流程不依赖于生产计划和制造 BOM。

(4) 生产过程质量控制。质量控制包括外购、外协件质量控制，工序质量控制，产品质量控制三个方面。例如，外购物资或外协件需通过物资检验流程审批通过后才能办理入库，强制检验点的工序完工需会自动进入检验员的检验环节，普通工序的完工则会流转至工人自检环节；而产品所有工序完成，则会进入完工流程，经过检验后方能成为完工产品。

(5) 生产看板和监控。通过对于产品生产进度的图示化显示，以及产品关联的生产任务进度、生产计划进度和工序进度的逐级细化显示，为领导和各级管理人员提供实时了解现场生产状态，识别节拍瓶颈的直观依据。例如，计划调度人员可通过“生产进度图”跟踪所有工作订单的工序计划进度信息，计划管理人员可通过“现场计划关键要素表”掌握全年交付数量、当前应交数量当前入库总数的信息。

(6) 外协供应商管理。外协业务管理是从外协计划生

成、协议签订、协议内容执行、进度监控到最终外协产品交付入库及外协单位售后维护的全业务过程管理。其中还包括外协过程中的质量管理（如技术问题处理、检验、返修与报废等），以及对外协业务数据进行的统计分析和基于分析结果进行的外协业务管理改进。

(7) 移动端的扩展应用。通过将现有制造执行管理系统的应用延伸至移动端，解决部分外协场所网络无法连通、产品离线检验等问题，实现生产过程中的数据采集、过程控制、动态分析、作业指导、产品追溯、质量监控以及过程预警等功能，提高生产管理人员、技术人员、外场操作人员的执行效率，减少纸质文件传递。

3、MES 系统的应用

MES 系统功能贯穿了研究所产品生产从前期工艺技术准备到最后成品入库的全业务过程，提供了便利和高效的信息化解决方案。研究所 MES 系统上线运行以来，先后完成了十余类，三百余件产品基于 BOM 结构的产品生产，承担了部分小型飞行器的总装总测工作，为飞行器的综合验证及产品发布做出了重要贡献，并以此为基础，形成了相应 BOM 结构、工艺文件等编制与管理规范，指导后续新类型、新产品和新生产线的工作开展。

四、结语

智能制造已逐步成为时代的主题，掌握了先进制造方式，就具备了将客户的个性化需求变为产品的能力。随着市场竞争越来越激烈，以研发设计为核心技术的研究所在竞争中越来越不占优势，建立自身的生产车间，是研究所突破现有局势的必由之路。本文介绍了研究所面临市场竞争压力的情况下开展的以 MES 为切入点的智能制造战略转型，介绍了 MES 系统的构建与应用情况。研究所通过以 MES 为核心构建了生产能力，并借助自身研发设计的优势，以面向制造的研发开发产品，生产的产品成功的在市场考验中站稳了脚步，且部分产品已经用在了飞行器产品中，经过了各类地面与飞行试验的考验，取得了满意效果。IM