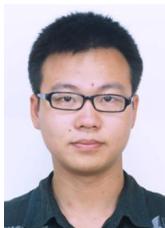


基于 TC 和 MES 的航天产品数字化制造技术

赵佳琪 朱朝晖 焦云雷 雷旭冰 辛 杨

(天津航天机电设备研究所, 天津 300458)



摘要: 以作者所在单位为例, 认真分析了传统制造模式存在的诸多问题, 并创新提出了一种适合于航天产品的数字化制造技术。详细阐述了该数字化制造技术的系统组成和关键技术, 最终形成了适合于本单位科研生产特点的数字化制造流程, 通过 Teamcenter 和 MES 等系统实现了从计划编制到产品出库全过程的数字化, 提高了产品质量和生产效率。

关键词: 航天产品; 多品种小批量; Teamcenter; MES; 数字化制造

Digital Manufacturing Technology of Aerospace Products based on TC and MES

Zhao Jiaqi Zhu Zhaohui Jiao Yunlei Lei Xubing Xin Yang

(Tianjin Institute of Aerospace Mechanical and Electrical Equipment, Tianjin 300458)

Abstract: Taking the author's institute as an example, this paper analyzes the problems existing in the traditional manufacturing mode, and puts forward a kind of digital manufacturing technology suitable for aerospace products. The system composition and key technology of the digital manufacturing technology are elaborated in this paper, and the technology has already realized digitization during the whole manufacturing process by the cooperation of digital systems, such as TC and MES, etc, which improve quality and efficiency of products.

Key words: aerospace products; multi variety and small batch; Teamcenter; MES; digital manufacturing technology

1 引言

数字化制造技术, 是将信息化手段用在工艺、生产、检验等产品的全生命周期中, 以提高生产效率和质量、降低生产成本、实现任务快速响应为目的的一系列技术手段的统称。数字化制造技术起源于美国, 美国波音 777 飞机由于采用此项技术, 研制周期、质量问题 and 成本都大大降低, 成为数字化制造技术最为经典的案例。近年来, 随着“中国制造 2025”的提出, 数字化制造技术在我国的应用越来越广泛, 例如为人们熟知的 C919 国产大飞机和长征七号火箭的研制和生产, 都离不开数字化制造技术。

随着我国航天事业的迅猛发展, 航天产品的研制

任务越来越多, 对航天单位的研制能力和制造效率提出了更高的要求。航天产品具有成本昂贵、种类多样、研制周期长等显著特点, 随着任务量的逐年加大, 必须要借助数字化手段来保证航天产品的质量和效率。笔者根据所在单位科研生产特点因地制宜, 提出了一种基于 TC 和 MES 的数字化制造技术, 实现了航天产品的数字化制造。

2 传统制造模式存在的问题

航天产品科研生产职能部门组织结构如图 1 所示。其中, 经营规划处负责订单的创建与下发, 科研生产处负责任务计划的编制与下达, 质量技术处负责保证

产品质量及零部件检验，物资处负责下料与原材料采购，研究室负责工艺的编制，信息档案室负责产品数据包的归档，精密机构中心负责产品的加工和装配。

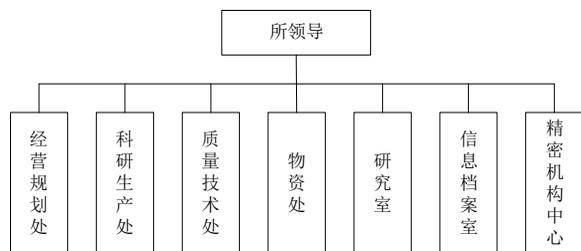


图1 航天产品职能部门组织结构图

传统制造模式是：经营规划处下达订单信息和时间节点要求→科研生产处调度编制生产计划并下发纸质任务通知单→工艺人员编制各项纸质工艺文件→物资处下料员根据纸质工艺文件上的下料要求进行下料→精密机构中心调度根据工艺要求编制各工序责任人和时间节点要求→精密机构中心操作人员和质量技术处检验人员分别根据纸质工艺过程卡和二维图纸进行编程加工和检验。

传统制造模式存在诸多不便之处，主要表现在以下几个方面：

2.1 二维图纸理解转化周期长

车间工人理解工艺要求和图纸信息是零件加工生产的基础，能否快速准确掌握图纸所表述的技术信息是影响生产效率的关键因素。一直以来，生产车间都是靠二维图纸指导加工和生产。然而，二维图纸经常存在尺寸、公差标注不全等疏漏，操作人员往往在编程、试切等过程中才能够发现问题，耽误了宝贵的时间。对于形状复杂的零件，二维图纸不够直观，需要

建立三维模型才能完全理解。对于难加工的零件，只有根据二维图纸建立三维数模，并将模型导入专用CAM软件编程，方可实现加工。

2.2 重复性编程使生产效率降低

航天产品技术要求严格，很多组成零件需要依靠数控加工，数控编程的时间成为制约科研生产效率的关键因素。虽然每年都会有很多相似的零件加工任务，但是由于数控程序没有规范的命名、审核和归档管理，导致数控程序的编制和使用往往是一次性的，数据包不能得到固化和继承，后面再遇到同类型的零件加工任务也只能再重新编制程序，做重复性的工作，制约了生产效率。

2.3 生产车间实时状态不易查知

由于没有辅以先进的数字化手段，生产车间各操作者正在执行的任务、各机床的加工状态、各零部件所在工位和进展到的工序等信息，都只能通过到各工位逐一查看或对各操作者逐一核实方可得知。

2.4 制造过程数据包不易管理

车间生产制造过程中会产生大量的数据，例如各零部件的质量控制卡、工艺过程卡以及二维图纸等过程记录和依据性文件，数控加工程序、加工数模等加工数据包，检验数据表、不合格品审理单等质量记录表，这些数据包都是纸质文件或一次性文件，非常难于管理。

由此可见，传统制造模式存在诸多问题，数字化制造技术成为解决这些问题的重要手段。

3 数字化制造总体架构

3.1 系统组成

	MES系统	TC系统	DNC系统	物资管理系统
软件支持	量具管理系统	刀具管理系统		回转库控制系统
	NX软件	CREO软件	PC-DMIS软件	AC-DMIS软件
设备支持	计算机	数控机床		垂直回转库
	条码扫描枪	读卡器		条码打印机
底层支持	Web服务器	文件服务器		数据库服务器

图2 航天产品数字化制造系统组成图

航天产品数字化制造系统组成如图2所示。数字化制造系统离不开底层信息系统、各类硬件设备以及客户

端软件等的支持。以服务器为代表的信息系统是数字化制造的后勤保障，用来存储数字化制造过程中的各类文

件和数据等过程记录，并给各类人员赋予相应的权限三。车间现场的各种硬件设备是数字化制造的重要工具，实现现场人员对系统的应用、物料的条码化流转、各类刀具的自动化管理等。以 TC 系统和 MES 系统为代表的软件系统是数字化制造的核心架构，通过不同的软件系统实现对各个制造环节的数字化管理，并通过打通各个软件系统间的接口，使各类软件系统达到集成互通，最终实现整个制造流程的数字化。

3.2 TC 系统

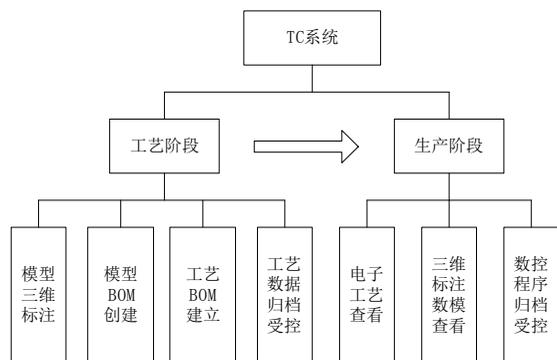


图3 TC系统功能结构图

TC 系统是 Siemens 公司旗下 PDM (Product Data Management, 产品数据管理) 系统 Teamcenter 的简称，能够实现产品数据管理、三维结构化工艺等功能。通过结构化 BOM 管理、工艺编制管理、 workflow 管理等功能，提高加工工艺的编制效率和规范化程度，确保各类工艺信息的一致性和安全性，实现了各类产品工艺的快速查询、三维数模的快速定位和下载、制造数据的电子化归档等。TC 系统功能结构如图 3 所示。

3.3 MES 系统

MES (Manufacturing Execution System) 是制造执行系统的简称，用来实现从订单创建到产品入库的中间各环节一系列过程的记录。MES 系统功能十分庞大，涉及科研生产全过程，计划阶段、工艺阶段和生产阶段都离不开 MES 系统。通过 MES 系统实现了阶段任务和工序任务的编制下达、工艺和生产人员的执行反馈、各类过程表单的电子化签署和流转、基于条码的产品出入库等功能。MES 系统功能结构如图 4 所示。

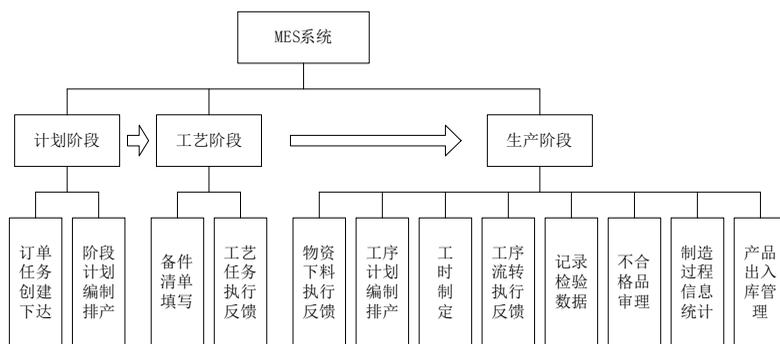


图4 MES系统功能结构图

4 数字化制造关键技术

4.1 基于模型的数字化制造

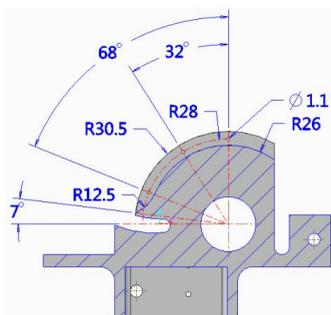


图5 带三维PMI标注的模型

基于模型的数字化制造 (Model Based Manufacturing, 简称 MBM) 使用的数模基于模型定义 (Model Based Design, 简称 MBD)，该模型的几何形状完全无误，并且带有设计人员和工艺人员关心的三维 PMI (Product Manufacturing Information, 即产品制造信息) 标注，如图 5 所示。

4.2 结构化三维模型与工艺

基于 TC 系统建立结构化的三维模型与工艺，如图 6 所示。车间操作人员根据零件图号和名称就可以定位到该零件的节点，展开此零件节点即可直观看到该零件的工艺过程、每道工序的内容、带 PMI 标注的模型文件等一系列技术数据，方便了数据的查看和数据包的管理。



图6 结构化三维模型与工艺

4.3 加工数据包审核与归档



图7 加工数据包审核与归档

数控程序和 CAM 数模等加工数据包的的管理是一项重要工作，对加工数据包的有效管理能够减少很多数控编程当中不必要的重复工作。TC 系统中建立了结构化的工艺模型树，在每个零件的每道工序节点下都建有“精加工数据”文件夹，将各类加工数据文件拖入该文件夹，并发起“精加工数据审批流程”，走完审核流程后即实现了加工程序的归档，如图 7 所示。通过这种方式，实现了加工数据包的有效管理，如果后续遇到相似的零件任务，可以通过搜索的方式快速定位找到该零件的加工数据包，利用此数据包参考将大大简化编程时间。

4.4 生产状态的实时跟踪

随着生产任务的逐年加大，车间现场的生产状态越来越难以获悉。MES 系统实现了生产状态的实时跟踪，车间领导和调度人员可以通过 MES 系统直观看到每个零件的工序进展，以及每道工序的责任人、节点要求和完成情况，如图 8 所示。

工序任务列表													
排产	工序任务分工	任务下发	工序添加	删除工序	序号	预警	状态	责任人	工序	工序名	计划开始时间	计划完成时间	实际完成时间
<input type="checkbox"/>					1	已完成	车	车玉山 (cheyushan)	10	料	2016-04-05 09:00:00	2016-04-10 17:00:00	2016-06-23 11:01:31
<input type="checkbox"/>					2	已完成	车	杨志远 (yangzhiyuan)	20	车	2016-06-20 08:30:00	2016-06-21 12:00:00	2016-06-23 17:29:04
<input type="checkbox"/>					3	已分配	外	李亮 (lilang)	30	外包	2016-06-21 16:00:00	2016-09-20 11:00:00	
<input type="checkbox"/>					4	规划中	刻	袁春燕 (yuanchunyan)	40	刻	2016-09-20 16:00:00	2016-09-21 11:00:00	

图8 生产状态的实时跟踪

4.5 过程文件的电子化管理

在生产制造过程中会产生大量的数据和文件，MES 系统实现了制造过程中各类数据的记录、各类表单的电子化，并将这些数据和文件按照一定的规则保存起来，不断积累形成制造过程的大数据。利用大数据可以进行任务完成率、产品合格率、工时统计等一系列复杂的数据统计工作。

5 系统运行

5.1 计划排产阶段

经营规划处人员在 MES 系统中填写订单信息（包括任务内容与交付时间）并下发给科研生产处，科研生产处调度在 MES 系统中进行产品级计划的编制，并下发工艺阶段任务给研究室。

5.2 工艺制定阶段

科研生产处调度下发阶段任务时，会在 TC 系统中产生该任务节点。研究室工艺人员在 MES 系统中接收到该任务之后，在 TC 系统中该任务节点下建立模型 BOM 和工艺 BOM，并发起工艺审核流程。流程结束后这些工艺数据即在 TC 系统中归档受控，并可被生产人员查看。

5.3 下料生产阶段

TC 系统工艺数据审核流程结束时，会在 MES 系统中产生该零部件的工艺过程。科研生产处调度根据工艺过程，在 MES 系统中下发生产阶段任务给精密机构中心并通知物资处下料，精密机构中心调度根据 MES 系统中的工艺过程，进行工序级计划的编制并安排生产。精密机构中心编程操作人员登录到 MES 系统中接受任务，在 TC 系统中查找获悉该零件的工艺要求，并从 TC 系统下载三维数模导入 NX 软件中进行编程，编程完毕后通过 DNC 系统将数控程序发送到机床加工。如果产品合格，数控程序正确无误，编程操作人员会将程序文件和 CAM 数模等加工数据包上传到 TC 系统该零件的工序节点下进行归档。

5.4 检验入库阶段

编程操作人员完成所负责的工序任务后，在 MES

系统中提交任务。质量技术处检验人员在MES系统中接受任务，登录TC系统中查看该零件的工艺要求，根据工艺要求在MES系统中填写检验数据。对于三坐标检验人员，需要从TC系统下载模型，并导入PC-DMIS或AC-DMIS等三坐标测量软件中编制三坐标检测程序。检验完毕后在MES系统中提交任务，即自动流转

到道工序。如果下道工序是外包工序，则需要检验人员在MES系统中进行入库操作。

综上所述，通过TC和MES等各类软硬件系统的相互配合，实现了航天产品科研生产制造全流程的数字化。航天产品数字化制造流程如图9所示。

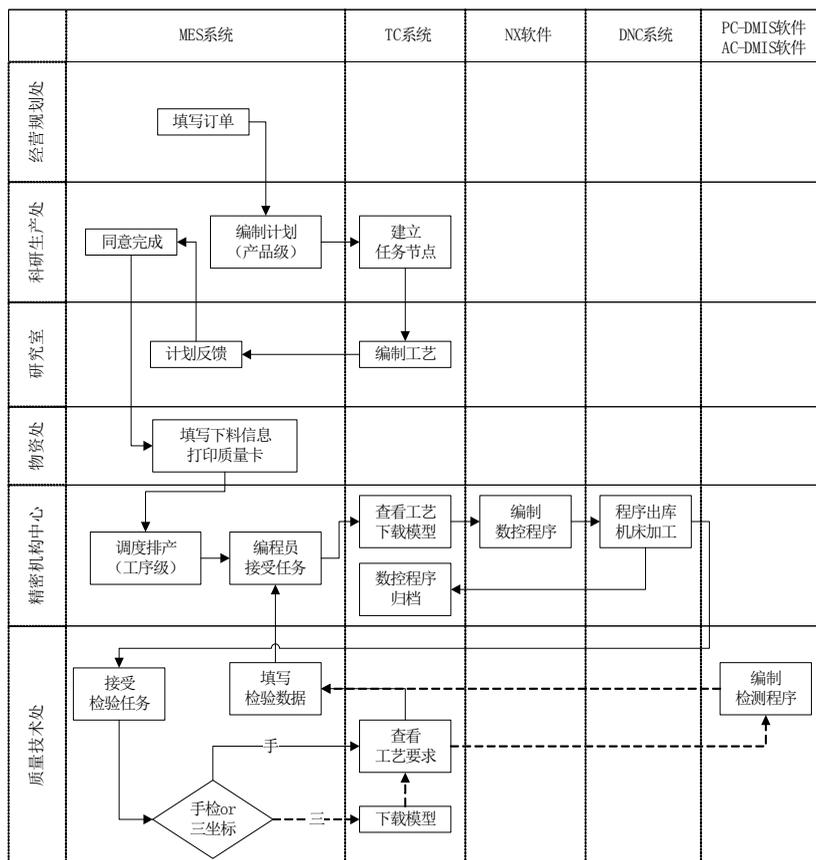


图9 航天产品数字化制造流程图

6 结束语

本文针对传统制造模式存在的问题，提出了一种基于TC和MES的航天产品数字化制造技术。通过对系统框架和关键技术的阐述，以及系统实际运行的验证，体现了此种技术的优越性和可行性。该技术实现了航天产品全制造过程的数字化，提高了产品质量和生产效率，对于离散型制造企业有借鉴意义。

参考文献

- 1 赵佳琪. 基于CREO的虚拟装配路径规划技术研究[J]. 航天制造技术, 2016(1): 65~67
- 2 李亚杰, 何阳. 三维工艺与MES在航天发动机数字化制造中的应用研究[J]. 火箭推进, 2015(2): 90~97
- 3 李杰, 倪军, 王安正. 从大数据到智能制造[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2016

出版社, 2016

- 4 马云, 曾鸣, 等. 读懂互联网+[M]. 北京: 中信出版社, 2015
- 5 孙京, 周平来, 孙连胜, 等. 航天器产品数字化制造的实践与思考[J]. 航天器工程, 2013(6): 6~10
- 6 赵佳琪. 基于CREO平台的水下生产设施典型部件虚拟装配系统研究[D]. 天津: 天津大学, 2013
- 7 赵四化. 基于条码管理的水下生产设施关键零部件生产信息平台开发[D]. 天津: 天津大学, 2013
- 8 武聪敏. 面向水下生产设施关键零部件的工艺技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2013
- 9 王红光. 深海采油设施关键零部件在线检测技术研究[D]. 天津: 天津大学, 2013
- 10 张高尉. 基于西门子840D的数控机床生产过程状态监测系统研究[D]. 天津: 天津大学, 2013