

# 流程主导的数字化车间 综合集成与协同

Digital Workshop Integration and Collaboration Driven by Process

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 曾国平 黎小华



曾国平

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司研究员级高级工程师,主要从事计算机集成制造、DNC、MES等技术研究,先后主持并参与了国家863、科技部等数字化制造重点课题的研究、开发及工程化应用工作。

成都飞机工业(集团)有限责任公司数控加工厂(以下简称成飞数控)是从事航空产品大型复杂结构零件数控加工的专业厂。过去,数控加工曾经是制约某型航空产品快速研制的瓶颈。成飞数控以提高数控核心价值流程效率为目标,围绕流程

近年来,成飞数控通过建立数字化车间综合集成环境,围绕核心价值流程实施多部门综合协同变革,使成飞数控在生产组织管理及流程优化、工艺设计、生产计划管理、生产过程管控及制造资源保障等方面发生了深刻变革。

主导的数字化车间综合集成与协同,在对硬件资源进行优化整合的基础上,注重核心知识资源的建设,通过数字化生产管理、工艺设计、资源管理、经营管理的综合集成应用,实现了从传统的生产管理方式到先进的数字化管理方式的转变,缩短了复杂结构零件研制周期,走出了一条数控技术和管理创新与信息化应用相互渗透、相互融合的转型发展之路。

## 成飞数控实施流程主导的数字化车间变革的背景及需求

从20世纪90年代中期开始,成飞数控由过去单一产品批量生产向新产品研制与多项目混线生产转变,同时,随着新研及批产任务的不断增加,新产品研制周期大大缩短,要求

大幅度缩短零件工艺技术准备周期和零件加工周期,对质量控制和成本控制也提出了更高的要求。单纯依靠增加机床设备、扩张资源等方式来提高产能已经难以满足新的需求。同时,新的需求带来了管理层多方面的挑战,如资源分配、管理变革、流程优化、绩效评价等问题。而要从根本上提高数控设备综合应用效率,必须从复杂结构件制造全过程,包括工艺准备(工艺设计、NC编程等)、质量管理和生产管控的数字化、信息集成、过程管理上下功夫。

过去的数控生产在零件加工、客户需求、员工观念等方面都存在一些问题。

(1)产品技术复杂性提高导致零件加工难度加大。新产品在设计

理念上采用了先进的整体结构,使用数控设备加工的零件比例大幅度提高,零件形状复杂、体积大、壁薄,加工难度大幅度增加。

(2)管理不适应客户的需求。传统生产管理关注的重点是零件加工结果的正确性,不注重生产流程的规范和稳定。随着客户方对制造商研制体系和制造流程规范性要求的提高,传统的只重结果不关注流程的管理表现出了极大的不适应,生产线常常因为流程不规范受到客户方的警告甚至停产整顿。

(3)员工观念的不适应。例如零件加工出现故障时,员工会采取自认为有效的办法来私自处理,认为只要结果正确就行。这种行为被客户方认定为“未经授权的反工”。

为缓解数控生产的矛盾,企业加大了数控设备的投入。然而硬件设备的增加仅仅改善了局部环节的效率,对提升零件投入产出整体生产流程效率的作用不明显。据统计,平均数控生产效率仅为20%~30%(国外先进企业数控效率通常可达到60%~80%)。

航空产品属于大型复杂产品,研制生产流程环节多,增加局部环节的能力对产品整体生产流程作用不明显,如图1所示。这种现象在我国企业中普遍存在。国内很多企业的硬件资源接近国际先进水平,然而管理水平没有同步提升,造成了先进设备与落后管理之间的“代差”。为满足客户需求,企业迫不得已采取延长工作时间和运动式突击会战的老办法。

如果将数控设备、厂房、工具比喻成一台计算机的CPU、内存、硬盘等硬件资源,则管理流程可以比喻成连接各种硬件资源和职能部门的“软总线”(如图2所示),那么企业的现状就可以描绘成CPU、内存、硬盘等硬件资源是最先进而高效率的,而管理流程这一总线结构则是落后而低效率的,所以整个制造系统的综合性

能是低效的。

## 流程主导的数字化制造变革

近年来,国际先进企业的产品研制模式已经步入数字化设计/制造/管理一体化和跨地域并行协同的时代。在制造环节,显著的特征就是将包含几何、结构、加工和检验等信息的三维模型作为唯一的制造依据,全面取消过去传统的二维纸质图样。

从航空产品设计研发到售后服务全价值链上分析,数控生产处于整个价值链的中间环节。要完成虚拟产品的数字化定义到实物产品的数控制造,首先必须全面应用数字化技术,建立适应数字量传递的工艺设计、加工检测以及生产管理的综合集成环境,实现零件生产这一环节与上下游之间的流程对接和信息贯通,完成从产品数字化设计的虚拟世界向零件制造现实世界的快速转换。

其次,零件生产必然牵涉到计划安排、材料投入、现场调度、资源准备等管理流程,因此在生产车间内部,应建立连接各职能部门和生产单元之间的、具有快速响应能力的内部流

程,借助信息集成、流程监控等技术实现生产物流、生产资源、设备加工状态的显性化和业务协同,才能适应在多品种变批量、多项目并行交叉等动态多变环境下车间内部各种资源的优化配置和快速组合,提高制造系统的快速应变能力。

最后,通过应用知识工程思想,将复杂结构零件的工艺知识、难加工材料的切削参数、各类管理运作数据进行充分挖掘和整理,借助IT技术将这些经验、规则、标准、方法进行结构化和标准化,为制造系统的高效运作提供共享的知识资源。成飞数字化车间体系结构如图3所示。

## 面向主价值链的数字化车间集成环境建设

成飞数控先后通过基于PDM的数字化工艺设计系统CAD/CAPP/CAM、制造执行系统MES、生产资源管理系统、数控机床DNC数据采集监控、生产绩效管理等系统的开发与集成应用,建立了覆盖车间主要业务功能和工艺信息、计划信息、控制信息、经营信息等相互融合的综合集

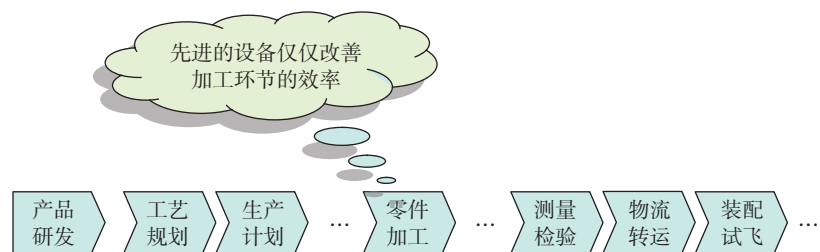


图1 航空产品研制生产流程

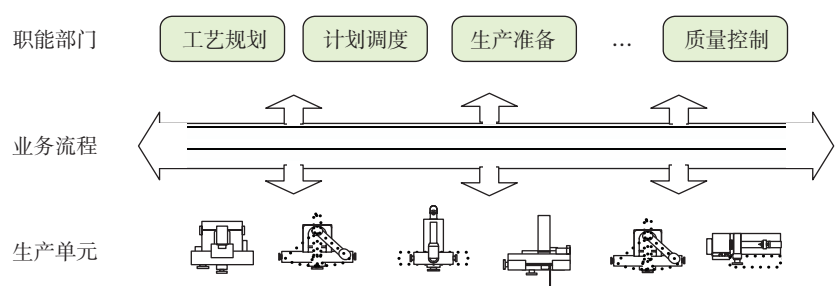


图2 制造车间的流程“总线”

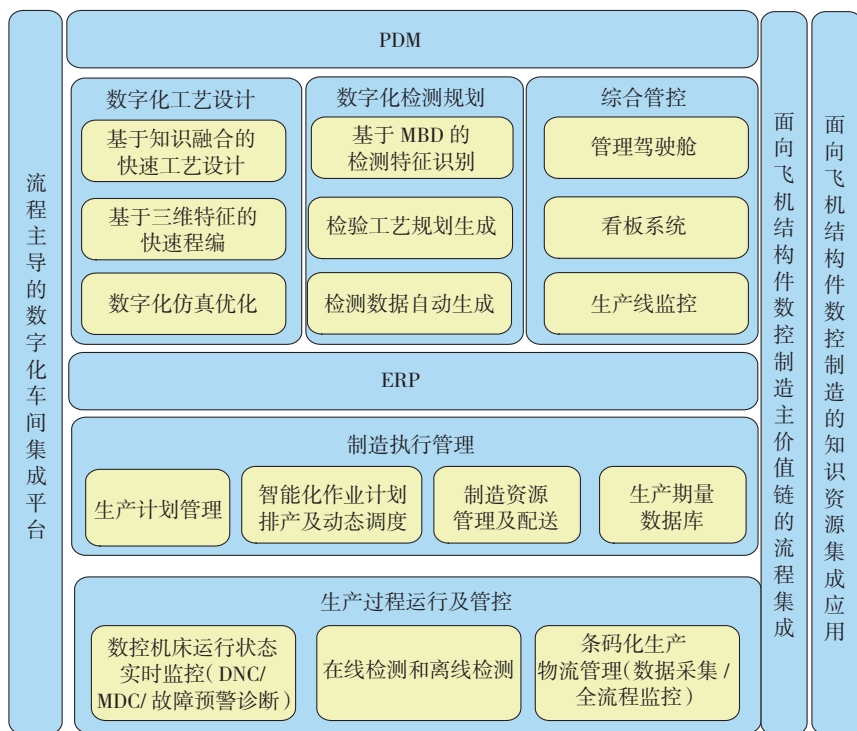


图3 数字化车间体系结构

成环境,沿着产品研制流程,从接收企业ERP的零件订单和PDM的产品三维模型数据开始,在车间内部经过数字化工艺设计、生产计划编制、作业调度管理、生产资源管理、产品加工过程控制,直到产品交付全流程上,实现了零件生产与上下游环节以及车间内部业务的集成,如图4所

示。在数字化车间建设初期,关注的重点是保证相关的数据和信息能够在跨越职能部门的流程上实现流动,而对数据的规范性、一致性关注不够。同时,随着市场需求的变化,生产车间的一些深层次问题显得日益突出,如工艺路线缺乏精益性,生产

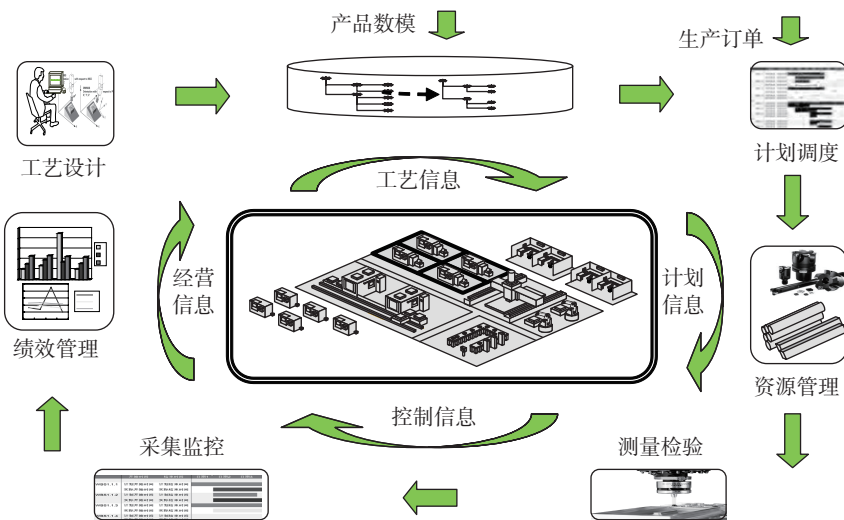


图4 数字化车间综合集成环境

单元资源配置不合理,导致物流周转次数过多;缺乏相关工艺知识库、管理期量数据库的支持,导致制造系统运行不畅、生产计划不合理;业务部门对生产现场故障响应速度慢,生产物流在周转、等待、故障处理等非加工环节消耗了较多的时间。

### 流程主导的数字化车间 综合集成与协同

针对上述问题,成飞数控在数字化车间后期实施过程中,从优化资源配置、围绕核心流程的业务协同、改善综合绩效指标3个层面,对系统进一步优化和完善,如图5所示。

#### 1 优化资源配置,组建 COE 生产单元

针对生产单元资源配置不合理、生产流程缺乏精益性等问题,成飞数控按照优异制造中心(COE)的思想,提出了组建COE生产单元的思路:首先,对现有结构零件进行综合分析,按材料特性和结构特征划分为不同的类别,确定出每一类别零件所适合的加工设备类型,以此为基础形成若干生产单元。

其次,按照流程完整性原则,为这些生产单元配置相应的辅助加工设备,保证每一类别零件能在其所属的生产单元完成从零件粗加工到精加工的整体流程,避免零件在不同的生产单元之间周转运输而产生的物流效率的浪费。

再次,进行人员优化组合,对工艺人员按照其所负责的零件类别、操作工人按照其所操作的设备进行相应的分类,保证零件、工艺人员、加工设备、操作工人等要素之间达到最佳组合状态并保持相对稳定,这样有助于工艺状态和产品质量的稳定和生产效率的提高。

#### 2 构建知识共享平台,加大知识资源的开发和利用

企业的生产经营活动就是将投入的资源转化为满足客户需求的产

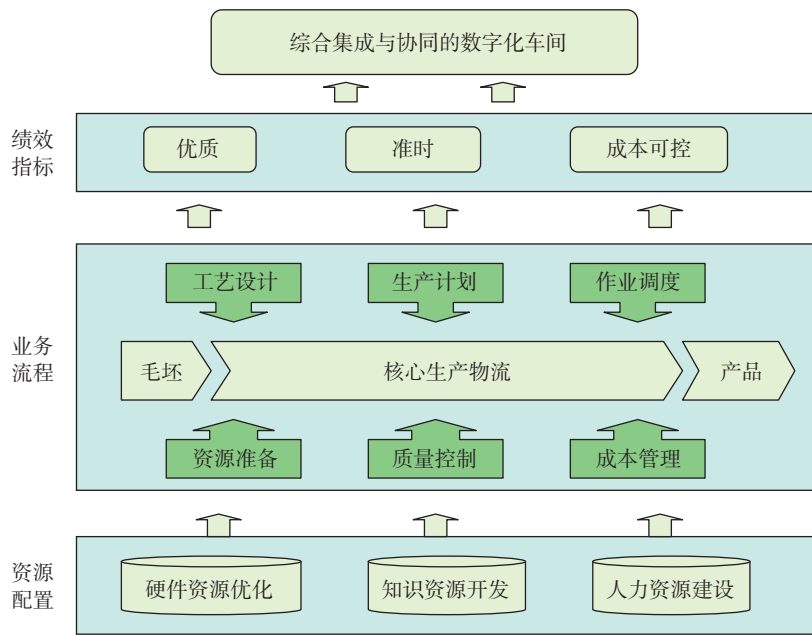


图5 数字化车间实施策略

品和服务的过程。在过去,企业间的竞争往往体现在机器设备、原材料、资金等有形资源的竞争;在知识经济时代,企业的核心竞争力更多体现在关键技术、企业文化等无形的知识资源上。

在数控加工行业,复杂结构零件高效精密加工技术、各种难加工材料工艺知识、支撑企业运作的管理类基础数据、丰富经验的工艺人员等,是企业在长期实践活动中的积累,不易被竞争对手模仿,属于企业的核心资源。

成飞数控在后期数字化车间实施过程中,重点加强了工艺知识、切削参数、管理运作期量数据、规范标

准等知识资源的建设,借助数字化集成环境,实现了知识的收集提炼、集成共享、实际应用、完善更新的积累迭代,如图6所示。

(1) 典型工艺及切削参数知识库。

针对航空结构零件框、梁、肋、隔板、接头等典型类别,将过去零散的、以个人经验形式存在的“know-how”进行归纳分析和总结提炼,建立了可共享的工艺知识库。采用切削加工动力学仿真和经验试切相结合的方法,建立了针对不同材料、切削刀具、零件特征、加工设备的切削参数库,工艺人员在工艺方案详细设计过程中可共享使用。

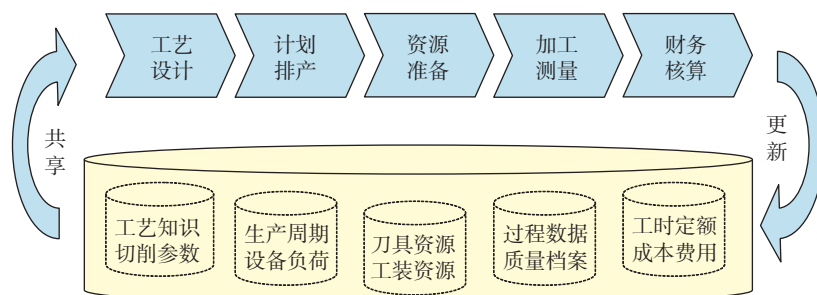


图6 知识资源的积累迭代

(2) 数控生产及经营管理期量数据库。

软件系统在长期运行中积累了大量的历史数据,这些数据详细记录了每项零件的实际生产流程,成为企业运作管理的宝贵资源。成飞数控采用仿真分析、实时监控和经验分析等方法,对历史数据进行充分的挖掘分析,形成了材料定额、工时定额、加工周期、成本消耗等期量数据库,为企业的计划排产、质量管理、成本控制、绩效评价等业务活动提供了量化的依据,也为整个数字化制造系统运行提供了数据支持。

(3) 规范及标准。

为提高零件的可加工性,加强与产品设计研发部门的沟通,提出了航空结构零件设计建模规范,建立了系列化数控刀具、复杂结构零件操作规范、数控设备操作规范等。

### 3 建立基于生产物流的协同平台,提高飞机结构件数控制造核心流程运作效率

生产车间的核心流程是零件按照工艺路线,在生产现场经过相关设备的加工,完成从毛坯状态到成品零件状态的过程。过去,管理者更多关注零件在机床上的加工效率,而忽略了生产物流的整体效率。当生产物流遇到障碍而停顿时,经常出现业务部门相互推诿扯皮的情况。统计数据表明,机械加工零件从投产到交付,零件在机床上的时间仅占5%,其余95%时间处于周转、等待、故障处理等环节。因而,建立基于生产物流的协同平台,提高飞机结构件数控制造核心流程运作效率,就显得极为重要了。

(1) 基于生产物流的协同环境。

从制造系统整体层面,采用综合分析方法对车间的核心生产物流进行系统分析和梳理,按照物流效率优先的原则,确定生产物流与各部门局部业务流程之间的关系,借助MES等信息化管理系统,对过去被职能

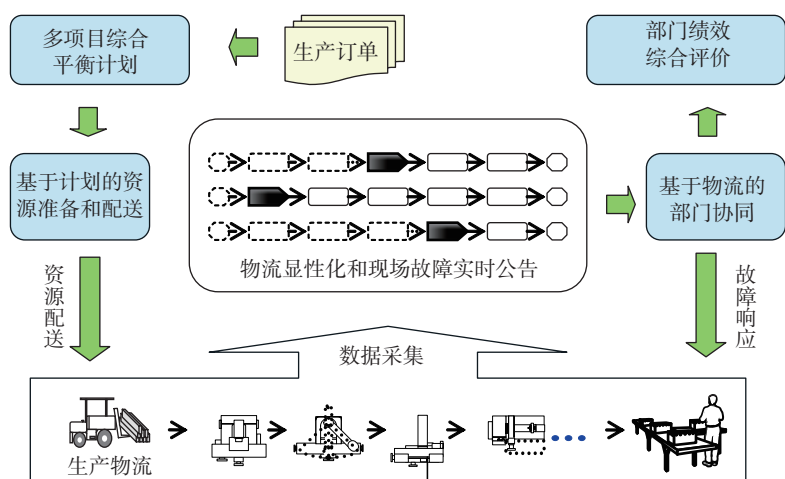


图7 基于生产物流的协同环境

式组织结构分割的局部流程进行显性化对接,形成完整的从毛坯投入到成品零件交付、显性化的核心价值流程,建立了围绕核心价值流程的多部门业务协同环境,如图7所示。

#### (2) 多项目综合平衡计划。

将过去的车间月份计划和单元派工计划职能合并,组成统一的计划编制团队,根据多项目订单总体要求,综合平衡数控设备等瓶颈资源的负荷,借助作业计划排产软件,编制车间多项目综合平衡计划,车间其他职能部门严格按照计划执行。当遇到客户需求变化等情况,计划编制团队负责计划的调整,减少了计划管理层次,加快了生产现场响应速度。

(3) 基于计划的生产资源预先准备和配送。

在该体系中,计划员在制定下一个班计划的同时,自动生成相应的资源配送计划并通过网络直接传递至生产准备部门;生产准备部门提前一个班次进行刀具、夹具的组装、测量、出库,并将准备好的刀具、夹具送至机床现场,缩短了生产准备时间。

(4) 建立生产现场故障快速响应机制,缩短现场故障响应时间。

生产物流在流动过程中往往会因为工艺问题、设备故障等出现停顿,这种情况在新机研制中尤其突

出。成飞数控借助信息化技术,开发了基于WEB方式的网络化制造数据采集DNC系统,对生产现场的设备运行情况、零件加工信息、生产过程故障情况进行实时采集和监控。在数字化协同平台上将生产物流过程和现场故障显性化,建立了故障实时在线公告与协同处理机制,对职能部门的故障处理过程进行动态监控。通过采用这一机制,缩短了现场问题处理时间,提高了生产物流的流动速度。

#### 4 飞机结构件数控制造核心运营流程综合绩效评价

在传统的绩效管理模式下,业务科室往往只关注本部门的指标,而忽视了企业核心生产物流的运行效率,如生产管理科希望生产物流走得快,对于质量指标、成本指标不太关注,而质量部门、成本控制部门则关注各自的质量指标、成本费用指标等内容。

数字化车间集成应用环境的构建为飞机结构件数控制造核心运营流程的全流程跟踪、监控和各个环节的绩效数据采集、分析和评价提供了一种快捷的实现手段。核心运营流程的显性化和信息化使流程运行过程更加透明,流程运行绩效数据可以实现自动采集、自动分析,不仅强化

了流程运行结果的评价,更提供了流程运行过程的综合监控手段。同时,围绕飞机结构件的生产主流流程,制造资源保障、工艺技术准备、生产物流、设备维护等支持保障业务流程的绩效也可以实现多视角的分析评价,使构建以核心运营流程为主导的数字化车间协同平台成为可能。

同时,成飞数控在利用数字化车间集成平台对飞机结构件生产物流进行测量监控和流程显性化的基础上,对运行效率、流程稳定性、投入产出比等指标进行测量评价,同时将各项指标与职能部门绩效指标相关联,以此为基础对职能部门绩效进行综合评价。这样就将全体员工关注的重点转移到核心生产物流上来,业务部门关注的重点也从过去本部门的单项指标转移到如何保证整个制造系统生产物流的稳定、高效、成本可控。

#### 结束语

近年来,成飞数控通过建立数字化车间综合集成环境,围绕核心价值流程实施多部门综合协同变革,使成飞数控在生产组织管理及流程优化、工艺设计、生产计划管理、生产过程管控及制造资源保障等方面发生了深刻变革。

通过实施流程主导的数字化车间综合集成与协同,数控效率由过去的23%提高到现在的45%以上,任务完成量年均递增25%,新项目复杂结构零件研制周期由过去的24个月缩短至现在的6~7个月,新产品首次加工合格率由过去的不到80%提高到现在的94%,实现了从传统的生产管理方式到流程主导的数字化管理方式的转变,企业核心竞争力显著增强,成飞数控也因此被中国航空工业集团公司授予“信息化和精益管理最佳实践——数字化车间”荣誉称号。

(责编 谷雨)