

实施数字化制造 实现现代化跨越

郑州飞机装备有限责任公司 徐鹏程



徐鹏程

毕业于西北工业大学流体控制与操纵系统专业,现为郑州飞机装备有限责任公司 CIMS 总师。自 1995 年起组织实施“10 号”、“高新”等多项技术改造项目,2006 年主持实施了国防科工委“数字化制造示范工程”项目,2007 年主持中航二集团“机载数字化制造技术研究”项目。河南省科技计划项目管理咨询专家,国防科工委制造信息化专家。

制造过程是制造企业运营的核心过程,它承担着将市场需求物化成实物产品的任务。企业的生存、发展、壮大与企业提供产品的速度、质量等及时满足瞬息万变的市场需求息息相关。因此,自 20 世纪中后期,相继出现了 JIT(准时生产制)、LEAN Production(精益生产)、

计算机技术的快速发展和深化应用逐渐改变了人们日常的工作方式。计算机系统强大的数据处理能力为满足企业对不断增加的数据进行有效、快速处理提供了便利的手段,制造企业要想在市场竞争白热化的今天立于不败之地,实施基于计算机系统的信息化建设是必由之路。

OPT(最优生产技术)、AM(敏捷制造)、CIMS(计算机集成制造系统)等各种先进的生产方式,一直沿用至今,并在制造领域取得了非常明显的效果。

一般来讲,制造企业现代化的实现,都会不同程度地实现上述先进的生产方式。但是,不论哪种先进的生产方式,企业都需要使生产的各个环节由粗放走向精细,由粗放走向精细的过程是一个企业信息量和数据急剧增长的过程。信息量和数据的大大增加远远超出了人们日常的处理能力,这也就是 JIT、LEAN、OPT 等在批量、工艺稳定的生产方面取得成功的原因。

现代市场对产品的交付周期要求越来越短,对产品的差异化和定制化要求越来越高,因此,不但传统的大批量生产需要改变,即按客户需求不断地变换品种、调整批量,而且类似军工产品的多品种、小批量生产也

要在交付周期上快速跟上市场的节奏,最终形成不同程度的多品种、变批量、柔性化、按单生产、快速交付的生产模式。这样一来,导致企业需要日常处理的信息量越来越大,数据越来越多,为了适应市场需求的快速变化,AM、CIMS 等基于计算机技术的数字化制造模式便应运而生。

计算机技术的快速发展和深化应用逐渐改变了人们日常的工作方式。计算机系统强大的数据处理能力为满足企业对不断增加的数据进行有效、快速处理提供了便利的手段,制造企业要想在市场竞争白热化的今天立于不败之地,实施基于计算机系统的信息化建设是必由之路。

中国已成为当今世界的制造大国,但绝大多数中国企业的制造过程仍然是粗放式的,没有形成快速满足市场需求的核心制造能力。欧美等制造强国的公司(如空客、波音等)已经开始并正在实现基于虚拟制造

技术的虚拟企业,而我国的企业还没有建立起一整套数据处理的信息化体系,因此,实施数字化制造,实现现代化跨越,将中国建设成为世界的制造强国,不但是中国制造企业的内在需要,也是时代赋予当代中国企业的重要使命。

传统制造过程存在的问题

根据市场需求,企业设计部门进行新产品设计、改型或沿用定型产品,设计输出全套的工程图纸和设计说明书;工艺部门依据工程图纸和设计说明书编制加工和装配工艺,即确定制造方法和制造资源;生产部门依据企业能力下达采购、外协、生产计划和内部生产单位的作业计划;生产单位(一般是分厂或车间)按照工艺要求和作业计划进行作业排程;车间工段进行每天的任务分配和生产组织;操作工人接受任务后按照工艺要求进行生产准备,然后进行零件加工或产品装配,交付零件或产品。

这是一个典型的设计制造流程,其中从工艺部门确定制造方法到交付零件或产品是一个完整的制造过程。在整个设计制造过程中,我们会碰到很多实际存在的问题。

(1) 设计、工艺串行工作时间长、沟通难。

设计图纸和资料首先经过签审,然后转入工艺部门,但通过纸质的工程图纸和设计资料,工艺人员无法准确判断设计意图能否在制造过程中正确实现,只能通过实际生产将随时发现的问题向上反馈,而此时实物生产已经发生,若出现颠覆性的问题,将导致重复生产,从而推迟了产品交付周期并造成浪费。

(2) 制造工艺设计不详细。

一个设备型号几十年不变的时代早已过去,企业的资源、制造手段正在发生日新月异的变化,工艺人员无法随时准确全面地了解这些变

化,因此编制的工艺就不可能细化到指定具体的设备、工具和量化工艺参数,只能制定通用的方法,而将具体的操作内容留给操作工人,由生产车间和操作工人自行决定。

(3) 能力平衡不准确,很难起到均衡生产的作用。

由于工艺设计不详细,现场工时采集不准确,能力平衡只能做到大体的分析,无法对现场生产起到具体的指导作用。

(4) 生产作业计划不准确,计划完成率很难保证。

作业计划是建立在正确的能力平衡基础之上的,失去了厂级、车间级的能力平衡准确性的支持,最终导致作业计划不准确而失去了严肃性,生产和制造部门讨价还价、频繁调整不可避免。

(5) 作业排程计划性差,生产现场忙闲不均。

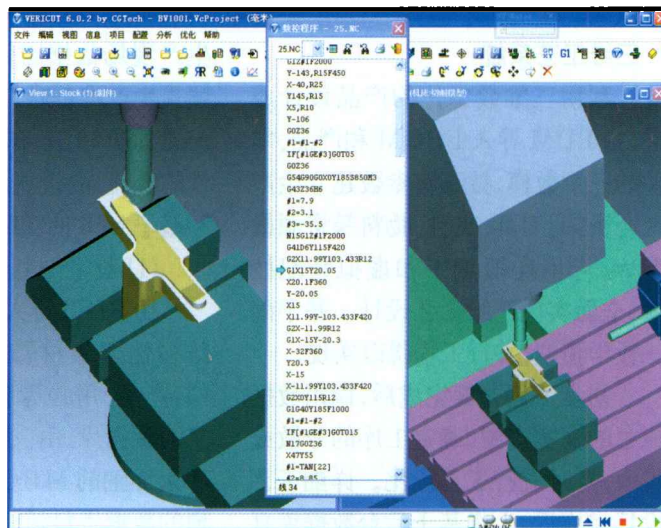
对于车间和工段来讲,单一品种、大批量的生产容易控制,而品种数量和批量的变化达到一定规模时,靠人的经验和感觉进行排产达到生产平衡几乎是不可能的,因此生产现场过量生产和生产不足经常发生。

(6) 工人自主生产准备,停机等待不可避免。

操作工人在接到任务后,首先要进行生产准备,而此时设备处于停机等待状态。据测评,目前数控设备利用率(指走程序的加工时间)不足一半。产品装配经常受到零件配套的制约,停工待料几乎无法避免。

在传统的制造过程中,以上问题几乎无法避免,而且下游的问题要受

到上游的制约。对于品种少、批量大、工艺比较稳定的生产,还可以逐渐细化至工步,乃至详细的操作说明,形成大批量流水生产线。但当前的市场形式已经不允许生产线长期稳定不变,尤其是典型的接单生产(make



虚拟加工

to order) 模式,仍按传统的模式组成流水线几乎不可能,为了应对快速变化的市场节奏,企业只能通过抓长线、抓缺件、控制重要节点、加强现场监控等粗放的管理方式组织生产,生产节奏很难控制,经常无法按期交付产品,最终导致企业市场竞争力不强。

数字化制造过程的运作模式

“十五”期间,数控机床的性能和数量实现了井喷式的发展,基于DMU数字样机的数字化设计仿真平台建设和基于ERP的数字化管理平台建设都取得了较大的成就。数字化设计和管理平台的建设,使传统的工艺设计和生产管理越来越成为产品制造的瓶颈。另一方面,数控机床、数字化设计、数字化管理手段的成熟应用为数字化制造提供了完善的实施基础。

从制造系统中存在的全局性问题着眼,只解决其中一个或几个方面的问题是不能产生太大成效的,必须建立全系统的数字化制造体系,才能

从根本上建立起现代化的制造模式,使研制、生产效率得以成倍提高。

制造过程分为工艺过程和生产过程两个阶段,因此数字化制造体系由相对独立又相互关联的“三维工艺系统”和“实时生产系统”两大部分组成。

1 三维工艺系统

利用三维数字化的产品设计成果,由PDM导入EBOM和产品、零件的三维数模,按真实参数建立生产现场机床、刀具、夹具、物料等资源模型库,应用虚拟加工和虚拟装配技术,全面实现三维工艺设计。基于同一数学模型,并行工程得以实现。

初步工艺方案完成后,调用数据库中的真实资源,确定工序的分散或集中,及时进行工艺优化。详细工艺设计完成后,生成基于后台数据库真实资源的工艺卡片、加工程序和准备清单。经过实际生产验证,零件或产品检验合格后,存入数据库固化,供今后生产安排直接调用。

平衡和加工节拍分析,确定经济合理的批次、批量,为生产安排、作业排程提供量化的数据及合理的建议。

对于批生产的产品、零件作进一步的详细工艺设计,细化到设备、刀具等具体资源,验证后存入数据库。当所有的工艺都来自固化的数据库,生产现场依据固化工艺提前做好配餐式生产准备时,车间将建成可动态配置、同时生产不同产品和零件的柔性的混流、混批流水式生产线。

2 基于MES的实时生产系统

(1) 数字化生产计划管理。

由PDM导入EBOM,按BOM结构建立原材料、毛坯、在制品、零件、产品、用户等各类实物及库存信息的数据库,由三维数字化工艺系统导入详细的MBOM,使生产系统管理的数据资料随时同设计、工艺的更改保持同步。

按照ERP的生产作业计划,选择合适的工艺路线,参照工艺系统优化后的批量、批次派工生产,并根据

(2) 数字化生产现场管理。

现场设置触摸屏电脑,通过网络调阅零件、毛坯的三维数模、各种文档、仿真加工程序、三坐标测量仿真及程序,并通过DNC系统下载至数控机床,实现数控加工的无纸化生产。

操作工人按照排好的工作队列依次严格按计划领工生产,系统自动安排并记录开始、结束时间,从根本上杜绝现场随意多干或少干的现象,保证了计划的严格执行。

在触摸屏上随时可以看到下一个任务或下一道工序的进度状态,提前做好下一道工序生产准备,实行一人多机、专人准备模式,从而使消除设备停机等待成为可能。

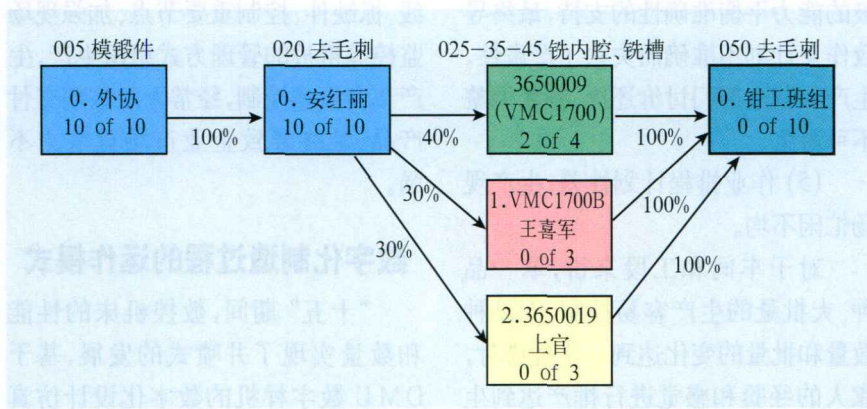
实时记录设备的停机、空闲、报警、运行等任何状态变化,显示实时的设备使用状态图形及数据,通过相应的管理措施,提高OEE。

在生产过程中,总有造成生产停滞的各类质量及设备问题,将停工或等待时间超过限度的任何问题及时登记录入,纳入FRACAS质量管理流程,实现管理归零,同时建立故障模式库实现共享。

采用三坐标自动测量,及时出具检验报告;自动导入测量数据,实现SPC数据采集分析。产品检验不合格时,及时填写数量和原因,保证现场数据的真实性和有效性。

(3) 数字化生产准备管理。

生产管理的水平在很大程度上取决于生产准备是否充分,生产准备不仅包括实物的准备,还包括更为重要的各种技术数据、工艺参数以及方式方法的准备。生产准备做得好,不仅可以保证生产的顺利进行,更可以充分发挥机床设备的功能,消除停机等待,提高设备利用率,从而大大提高生产效率。因此,在数字化制造体系建设中,要着重加强生产准备管理系统的建设,而数字化制造的技术手段为加强一向比较薄弱的生产准备



工序状态

经过生产验证的典型加工方法和制造工艺,制定成企业通用标准存入知识专家库,供所有的工艺人员随时调用,逐渐建成企业的核心制造能力。

建立产品、工艺、资源(PPR)结构的数据库,生成产品及零件的MBOM,经过对产品进行静态的成本和时间分析,给出准确的产品报价和制造周期;通过计算机物流及生产线仿真,实现加工现场动态的能力

生产线的运行情况动态调整加工设备和生产人员,保持生产现场均衡生产。

实时管理生产过程,自动将工序进度等生产动态写入ERP;实时管理原材料、毛坯、在制品、零件、产品等各类库存,将库存动态写入ERP;全程实现动态发货管理,将成品动态写入ERP。

实时采集质检人员记录的测量数据等质量信息,实现SPC分析。

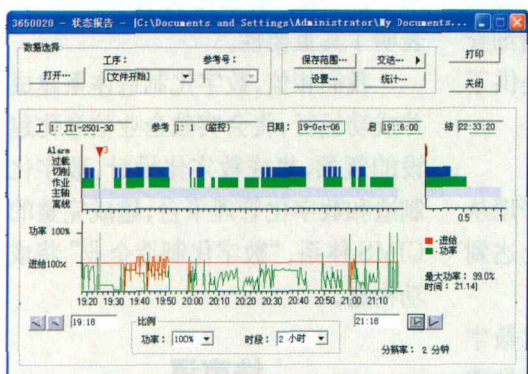
管理提供了非常便利的手段。

全面跟踪管理现场刀、量、夹等器具实物,实现各类物资从购入到报废的全寿命周期管理。

依据工作队列和实时工序状态,按配餐方式提前做好生产准备,消除停机等待,实现各类产品混流、混批的 JIT 流水线式生产作业方式。

建立机床监控系统,实现现场生产及设备使用情况分析,采集实作工时,为进一步优化生产作业排程准备准确数据,同时细化管理考核。

采集并存储机床加工监控数据,



机床加工实时监控

分析刀具有效切削材料的时间比率,为工艺人员进一步优化加工程序做好数据准备。

监控机床功率及进给速度曲线,供工艺人员分析并优化机床切削参数,充分发挥机床性能。

数字化制造的运行效果

2005 年郑飞公司承担了国防科工委“数字化制造示范工程”项目。2006 年 5 月初,工程正式启动。经过招标采购,2006 年 7 月份供应商全面进厂实施,至 2006 年 12 月底,工程建设全部完成。2007 年 3 月,项目试运行结束。截至 2007 年 4 月底,“数字化制造示范工程”项目建设实施工作全部完成,郑飞公司建成了完善的数字化制造体系,经 5、6 月份全面运行,已初步显示出明显的运行效果。

三维数字化机械加工工艺建成

运行,真正实现了“甩图纸”;运用虚拟加工和质量预分析技术,保证了下达生产线的技术数据一次合格;数控加工实现了“无纸化制造”;全面建成了车间数字化生产管理系统,并实现了“实时控制”,基于网络数据库的实时数据真正实现了“甩帐表”;运用快速生产准备与资源管理技术,实施配餐式管理,实现生产线的“流水式作业”;基于成组技术的单元化制造与可重构生产系统的技术应用,逐步建立起全车间范围不依赖于品种批量的面向敏捷制造的混合柔性流水生产线;应用“三坐标”等数字化测量设备、仪器及 FRACAS 系统等质量保证技术,为车间级 6 σ 提供准确的第一手数据;机床及生产线监控系统技术,为各类人员的量化考核提供了准确的第一手数据,车间内部实现精细管理,为企业实现“精益管理”提供了必要的保证。

项目实施过程中,应用成组技术,实现了对止动器类零件的数字化制造改造,并取得了显著的效果。

止动器类零件是公司的核心零件之一,传统的加工方法采用工序分散的原则,工序数量多,每道工序的加工内容少,生产周期长,质量不稳定,加工效率很低。如 I11 止动器机加工序有 54 道,生产线占用 30 台设备,11 套专用夹具,一线操作人员 40 人; I15 止动器机加工序 42 道,生产线设备 28 台,12 套专用夹具,一线操作人员 38 人,

自止动器生产至今,始终是工厂生产进度的瓶颈。

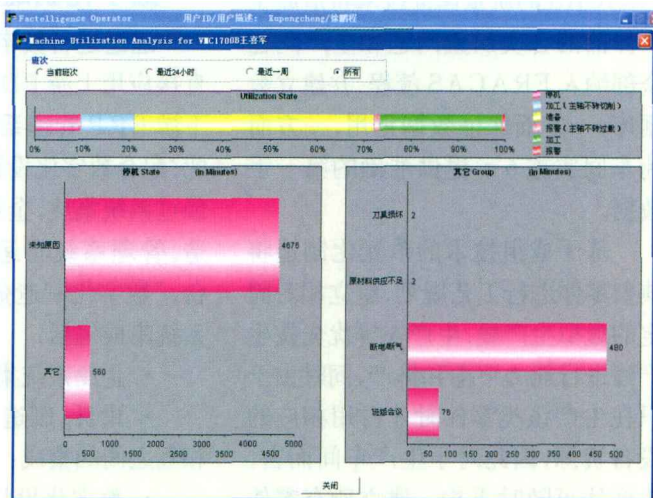
经数字化改造后,综合效率提高了 3~4 倍,通常一批零件的加工周期由原来的 40 天左右缩短为 1 周左右,生产效率大幅度提高,现在的止动器类零件已不再是生产瓶颈。

经过总结,数字化制造系统在以下方面取得了明显的效果。

(1) 设计方面。

由于工艺规划可以直接利用三维模型进行三维工艺设计,设计完成三维模型后,可以不再出二维工程图纸,而数控加工基于三维模型直接生成数控机床加工程序,并通过 DNC 网络直接下载到机床,从而实现了基于网络平台的设计、工艺工作“甩图纸”。设计模型完成后,工艺直接利用三维模型应用虚拟加工和质量预分析技术进行验证,通过不断的迭代,将设计问题解决在实物投产之前,实现了设计、工艺的“并行作业”。

设计作为数据的源头,由于受到下游制造方面工艺、生产强烈需求的牵引, PDM 系统的数据更加趋向于完善和真实,系统逐渐成熟。



设备利用率分析

(2) 制造方面。

三维数控工艺系统建成了 PPR (产品、工艺、资源) 结构的工艺知识专家数据库,包括产品零件数模,在制品数模,成组零件典型加工工艺,

零件特征加工方法库,切削参数库,基于实物的机床、刀具、夹具、量具等资源库以及厂房,生产线模型等,所有人员可以直接通过网络重用,并通过不断地使用实现智能增长,真正形成了工厂的核心制造能力。

DNC 系统网络的建立,将每台数控机床直接联入园区网,实现工艺人员生成数控程序后在自己的电脑上直接下载至任一机床,或将任一台机床的程序上传至本机。

机床监控系统可以使任何人在网上的任一台上查看任一设备实时、历史的运行状况,并将监控曲线上传分析,工艺人员通过分析监控曲线和数据不断优化程序和切削参数,提高设备使用效率。

刀具管理系统,实现了机床、刀具、量具、夹具等实物资源的全寿命周期管理,建立所有资源的动态数据库,运用快速生产准备与资源管理技术,实施配餐式管理,实现生产线的“流水式作业”。

数字化测量设备和仪器使产品检验由定性走向定量,使基于计算机的SPC分析成为可能。基于FRACAS的质量保证技术将造成生产停滞的各类质量问题和生产问题全部纳入FRACAS流程,并建立数据库,一方面保证数据重用,一方面为车间实施6 σ 提供准确的第一手数据。

基于成组技术的单元化制造将典型零件进行工艺规划,建立相对固定的虚拟生产线,生产安排优先按生产线进行能力平衡和排产,同时由于只在生产该类零件时才占用相应的设备资源,因此对于生产车间而言,生产线可随时重构。建立所有零件的生产线模型,形成数据库,逐步建立起全车间范围不依赖于品种批量的面向敏捷制造的混合柔性流水生产线。

基于MES全面建成了车间数字化生产管理系统,实现了车间全面管

理的网络化运行。工长通过网络派工,工人通过现场触摸屏领工生产;数控加工全面实现“无纸化”;任何人通过网络可以查看任一零件任一时段的进度状态,任一毛坯、在制品、成品的库存状态;可以进行产品追踪、停工追踪、实时监控、数据采集、设备利用率分析、应用各种工具进行评价(评估)等等。应用可定制的各类电子报(告)表,基于网络数据库的实时数据真正实现了“甩帐表”。

机床及生产线监控系统24小时不间断地记录数据,通过分析整理,为各类人员的量化考核提供了准确的第一手数据,车间内部实现精细化管理,为企业实现“精益管理”提供了数据保证。

(3)管理方面。

实施完成后,车间信息化管理从无到有,从弱到强,目前基本上达到了同期国际先进水平。

公司实施ERP系统,通过数字化制造体系,使长期困扰ERP准确运行的现场数据采集得到了根本的解决,ERP的实施将真正走向成功。

数字化制造企业的构建

通过运行数字化制造系统,可以直接应用上游PDM的数据,实现对下游ERP管理系统的数据库支持,因此,配合数字化设计、管理系统建设,经过系统集成,企业的设计、工艺、制造、管理系统将运行于同一数据平台,“数字化制造企业”将得以实现。系统集成包括:

- 企业系统集成总体规划;
- 设计、制造、管理系统内部及相互之间的集成;
- 数字化设计、试验、制造集成规范和标准;
- 产品数据、资源与过程集成管理;
- 基于虚拟样机的一体化设计、试验、制造仿真技术的应用和分布式协同设计、制造支撑环境的建立;

• 基于系统集成的企业经营过程优化;

• KPI绩效考核指标与工作管理指标分解同管理考核系统的集成;

• 企业集团乃至虚拟企业的工作、经营管理指标同管理考核系统的集成。

设计、管理的数字化,经过“十五”期间的研究应用,现在已经很成熟,但是要建立数字化企业,制造过程的数字化是不可逾越的,尤其是对制造企业来讲,更是企业数字化的核心。科工委将“数字化制造”作为“十一五”信息化发展的重点,也表明了其重要性。

我们相信,数字化制造体系建成并成功运行,将会突破企业信息化建设的瓶颈,集成数字化设计、数字化制造和数字化管理平台,建成完整的CIMS体系,“数字化制造企业”将成功构建。

结束语

企业的信息化建设不是目的而是手段,但如果没有这样的手段,企业将在世界现代化进程中逐渐被淘汰。数字化制造企业建成后,基于计算机网络,企业应用JIT、LEAN、OPT、AM、CIMS等先进制造技术将成为可能,因此,建设数字化制造企业,将实现企业现代化的跨越。

对工作中实际信息掌握的准确性和全面性,决定着管理工作的有效性,只有对客观实际信息全面准确及时地掌握,才能避免决策错误,减少工作拖延,纠正工作方向。企业的数字化平台,最终将支撑起企业的数字化决策体系和管理考核体系。依据数字化决策体系,各级管理人员可以随时了解与其工作相关的各类实时信息,并及时做出相应的决策;管理考核体系将企业各部门甚至每个人员的工作任务依据企业战略目标逐级量化,通过合理的指标考核,企业的战略目标将得以实现。

(责编 金卯)