

PLM支持下的数字化制造

Digital Manufacturing Supported by PLM

通力有限公司 郭诚志



郭诚志

1967年毕业于哈尔滨工业大学工程力学系,1987年到美国明尼苏达大学机械工程学院作访问学者。多年从事航天器制造工艺和数控、CAM技术研究和实践,积累了丰富的工艺和管理经验。1999年开始从事“数字化工厂”、数字化制造技术的研究和推广工作。

数字化制造技术自产生以来,已经从技术上的“单点工具”走向了集工艺技术和工艺管理于一身的全面解决方案。近几年,数字化制造伴随着制造过程管理(Manufacturing Process Management,MPM)的概念融入产品生命周期管理(PLM)平台。在工艺规划、零部件的数字化加工、产品的数字化预装配、人机工程分析等应用领域,在PLM平台的支持下,实现了全团队的数据和资源的共享,

越来越多的制造企业从长远发展的战略考虑,精心规划和积极构建企业信息系统集成框架,为深化企业信息共享、推动企业创新打基础。传统的制造行业,特别是装备制造业,在PLM战略支持下的数字化制造平台,将给企业创新添加新的活力。

提高了制造团体与企业内外的有效协同,促进了企业的知识重用。PLM的变更管理、版本管理等功能更有效的保障数字化制造的正确实施。

数字化制造的发展历程

对制造过程数字化的设想,最早可以追溯到20世纪50年代,美国麻省理工学院的研究人员设想在屏幕上对零件模型进行操作,同时,按照屏幕上的模型,在机床上加工零件。这在当时只不过是一种理想。此后,数控技术和数控机床的出现有力地支持了这个设想,使得用数字量控制零部件的加工过程成为可能。早期的数控机床既庞大又昂贵,应用范围很小。后来的几十年的时间里,计算机技术迅速发展,运算速度加快、存储容量加大,体积不断缩小,这对数控机床控制系统的发展产生了极大的促进。与此同时,CAD、CAM和CAPP技术的发展,直接推动了数字化制造的发展。

20世纪80年代以来,以色列等国家先后开始了系统的数字化制造的研究和应用。首先,在1985年前后开始了机器人运动学仿真研究,并应用于机器人的离线编程。这对于使用机器人的生产线,特别是汽车工业,有重要意义。它大大地缩短了生产线的调试、生产准备周期,提高了新产品面市的速度。

从一些生产系统的仿真优化、生产单元的自动化研究开始,关于“数字化”制造的理念和实践从一些“点工具”逐渐发展起来,一步步地推向了制造工程的各个方面,形成了计算机辅助生产工程(CAPE)的概念。1996年前后,制造过程数字化就开始向构建完整制造过程框架发展,在制造服务器上建立工艺模型,产品和生产数据实现共享,各个“点工具”类型的专业模块无缝地集成在一起,支持整个工艺过程的各个环节,包括:生产计划制订、生产线定义和平衡、工时定额、零件加工和数控编

程、装配过程研究、质量控制、人机功效、厂房布局、工作指导、工艺文件生成等等,形成了功能齐全的、运行在计算机上的“数字化工厂(Digital Factory)”。在这里,仿真作为主要的技术手段被广泛地应用。高性能计算机和网络支持的虚拟制造环境是“数字化工厂”运行的基础。制造过程的关键环节和本质特征都先于物理的实际过程展现出来,生产过程可能出现的问题也可在规划的早期被发现,从而较早地得到解决。

2000年初,以色列 Tecnomatix 公司在公司年会上提出了 MPM 的理念,支持制造过程生命周期,即从工艺过程规划、制造工艺技术和设备到成品的过程,将整个制造链的所有成员包括 OEM 设计师、工艺工程师、设备制造厂和物料供应商联系到一个虚拟的企业里。MPM 有助于制造商形成最佳的生产策略以支持商业策略,它的实施结果进一步推动了数字化制造向全方位的解决方案发展。近两年,PLM 日渐成为许多制造企业的统一架构的数字化平台,MPM 已经成为 PLM 平台不可分割的一部分。数字化制造与产品研发共享统一环境,在充分发挥工艺技术仿真优势的同时,又全面提升了在制造数据管理、工艺过程管理和资源管理上的能力。

数字化制造过程

制造过程,从规划到执行,涉及各种复杂而相互联系的活动——从零件加工和装配工艺规划到工厂设计、工作单元布局、人机工程分析和质量规划。基于 PLM 的数字化制造解决方案能够支持并简化所有这些活动,缩短工作周期,改善协同并促进在整个制造过程中知识和资源的重用。

制造过程可以抽象为一个由产品、工艺流程和资源三要素组成的流程模型。其中,产品是毛坯、原材

料、半成品、零件、部件及最终产品的统称。工艺流程是制造产品的全部工序的集合,包括加工、装配等环节。资源,广义地包括人员、工厂、工具和夹具等工艺装备,是工艺流程得以进行的条件。随着制造过程的进行,经过一道道工序,产品形态逐渐由最初的原材料、毛坯向能满足使用要求的最终产品变化。

一个完整的产品,往往由若干个部件和零件组成,每个部件由若干个子部件或零件组成。在 PLM 环境下,所有零、部件按逻辑层次配置在产品树上。来自 CAD 的大量产品信息包括多种形式:描述零部件几何形状的数模和图纸、记载技术条件和标准的文本文件、相关的动画或影视文件等都集成在产品结构树里。实际应用时,还要表示出同样产品的不同版本。

工艺过程包括多道工序。工序信息包括工序名称、操作内容、工时、操作人员、所需设备及刀具工装等。一个工序会分成若干工步来执行。设计和创建工艺流程时,根据具体的零部件的形状,功能、工艺要求,结合工厂结构、车间分工原则,制订工艺路线、选择合理的工序和工步,分派适当的工作单元并指派所需工艺装备,指定所需操作人员技术等级。PLM 平台下的工艺流程的设计

过程,也是由设计物料清单 BOM、创建制造 BOM 的过程。BOM 信息与制造过程清单(BOP)相关联,确保在正确的上下文工作环境中使用正确的产品配置。

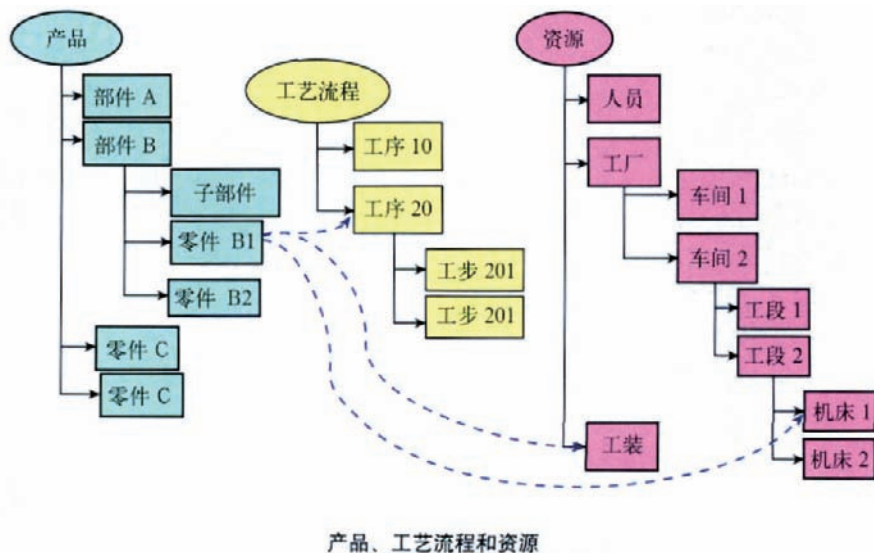
资源信息来自工厂设计和工位布局平台、工装夹具设计平台等多条渠道。在 PLM 环境下,对多种制造资源进行分类管理,根据企业成功的典型工艺和制造经验形成的模版,保证对资源和工厂布局的合理利用。

PLM 环境下的使用有效性管理,可以根据销售的不同情况和产品不同批次技术条件的改变,提供正确的信息,进行有效的变更管理,保证产品数字化制造过程的正确性和在产品全生命周期范围内对工程变更的快速反应。

PLM 是制造企业信息化战略,也是实施信息化的平台。这种制造过程信息化的机制将保证制造团队更有效的协同,使工作团队在需要的时候,更快地访问关键数据,实现企业典型工艺及制造经验的共享,实现企业的知识工程和知识管理。

工艺计划及其仿真实验

产品生命周期管理(PLM)在规划产品的生产时,把实际的产品数据、所需的制造资源、工序操作和制造特征联系起来建立起完整的工艺



过程信息,就形成了表述清晰的工艺规划,它是数字化制造全过程的基本线索,它使所有工艺信息可以在企业内部和整个企业供应链各环节中所有相关人员实现高度共享。

在数字化的工艺规划界面上,实现了产品三维显示,可进行缩放、旋转操作,计划调度人员可以清晰地观察产品的状态变化。工序的实施顺序、各工序的名称和实施内容、所需时间和资源以各种表格、图表和文字等形式清楚地表示出来。借助工艺规划可以量化地进行产能分析、定额分配和工位布局设计。Pert图把零件、制造特征和资源与操作联系起来。同时,它可以定义各工序间的物料流,进而制定物料计划。借助Gantt图的功能,在计划人员的介入下调整生产线平衡和识别生产线上的关键路径。同时,工艺规划会警示计划人员注意是否存在潜在的资源利用冲突。

初步制定的工艺规划,还可以借助离散事件仿真功能,进行生产线的性能分析,包括产量、物料流、负荷平衡、瓶颈和缓冲区大小等,实现计划的验证和优化。

对离散事件系统进行仿真分析,一般的要建立系统的仿真模型,根据工作站和操作的类型,选择适当的分布函数和控制策略来描述系统。在PLM环境下建立仿真模型时,工艺规划的许多信息可以来自PLM系统,软件自动完成信息传递,操作方便。对仿真模型进行足够长时间的运行后,系统给出该计划方案在连续运行后表现出来的性能指标值,如生产能力、节拍、效率、在制品、库存等,并用图表、报告等形式表示出来。当生产规模较大、系统比较复杂时,进行仿真分析的模型会采用层次化的结构,分别表示工厂、车间生产线、工段、班组等层次,使得模型的表述很清晰,看上去一目了然。工厂、车间、工段不同级别的生产、计划人员可以

就自己职责范围进行更深入的分析研究,掌握全局与局部的关系,必要时进行适当调整。当仿真建模考虑到了内部和外部供应链、生产资源和商务过程时,可以分析生产变更对上下游带来的影响,评估不同的生产线控制策略的优劣,验证生产线和次级生产线的同步情况。

有些生产线运行中可能存在“瓶颈”,它限制了整个系统的运行效率,成为提高产能的关键。对这样的问题,生产部门会提出多种改进的办法,这些办法往往都是对原方案的局部修订。通过对修订方案的仿真运行并进行定量分析,就可以给出最后的改进办法。

有些行业在对生产系统进行设计和优化时,越来越多地把物流考虑在内,对物流的走向、密度、运输方式进行仿真分析,将物流可视化,用Sankey图可以直观地显示当前配置下的物料传输量。

有许多仿真工具把遗传算法应用到生产系统仿真中,可以根据各种约束条件(如产量、库存、资源利用和交付日期等)来优化系统参数,使系统达到总体优化的目标。

零部件数字化加工

在PLM平台上,产品设计人员、工艺人员、数控编程人员、工装设计人员、计划调度人员、生产管理人员共享物料清单(eBOM)形式的产品设计数据和电子工艺单(eBOP)形式的制造工程数据,他们在执行各自的任务时,可以在正确的时间访问正确的零部件制造数据,实现了各个部门间的并行协同作业。这样,既缩短了工程周期,又提高了制造过程的工程质量。

工艺技术人员借助PLM平台,可以方便地获得设计部门提供的零部件的各种信息(如数模、图纸、技术条件等),对产品有全面的了解。据此设计零件的加工方法,编制出工艺

规程。CAD系统生成的模型,是编制数控加工程序的依据。由PLM平台提供的资源信息,获得加工所需的保障条件,如数控机床的结构形式、驱动轴、行程、刀量具、夹具等,编制数控程序、进行后置处理,编制其他工艺文件。这些文件将传递到车间的分布式数控(DNC)系统和制造执行系统(MES),作为指导工人操作的工作指示文件和生产计划人员编制作业计划的依据。

同样地,仿真技术在数字化加工中也是非常重要的。通常要作的主要是数控切削仿真和切削参数仿真优化。初步编制的数控程序在试切验证之前,往往会有一些疏忽或瑕疵,需要验证和完善。数控切削仿真工具根据刀具位置文件显示出刀具与工件的相对运动和材料的去除过程,检测是否有干涉和“过切”现象的发生。切削过程干涉检查,不但需要检测刀具与工件的干涉,还要考虑机床主轴和夹具等之间是否会产生干涉、碰撞,以便确保加工安全,万无一失。无论是昂贵的多轴数控机床,还是形状复杂的、加工周期很长的零件,碰撞和干涉都是绝对不允许的。而对干涉的预测,尤其对五坐标数控加工,单靠人工是无法实现的。

另一方面,各种专业仿真软件作为“点工具”也为确定加工方法和编制数控程序提供了重要的辅助作用。用加工仿真软件模拟加工过程的机理,分析过程中的物理变化,如中切屑的形成过程,加工时的工具和材料的温度分布、切削力的变化等,了解这些会有助于冷却条件的确定和转数、进给率等加工参数的优化,是编制合理的数控程序不可缺少的内容。这类工具软件,除了有加工参数仿真外,还有铸造过程仿真、焊接过程仿真等。

数字化装配

设计人员可以在产品研发的早期,利用CAD系统的原始数据构造

虚拟样机,分析产品各零部件的位置关系,相互间的距离和配合、检测公差失调。

数字化预装配(Digital Pre-Assembly, DPA)技术着眼于产品装配的动态过程,设计产品零部件的装配顺序,用 Gantt 图和树状图定义和调整装配顺序。建立装配和分解的路径,可以仿真零部件在装配过程中扫掠过的空间包络,以便进行干涉检查。一旦有干涉发生,则要给出声音或颜色提示。有时可以用一系列的截面动态地显示出详细的干涉过程,表示出干涉的范围。

从生产工程的角度,数字化预装配更多地研究装配的实施过程,把装配过程放在工程环境(包括厂房、人员、工装、工具等)下,对产品装配过程中的车间环境、工作单元、物流配送路径、产品姿态进行仿真、分析和编辑,充分地接近工程实际。数字化预装配研究不但适用于装配过程,也适用于拆解和维修过程。PLM 支持下的数字化装配技术具有以下特点:

- 缩短新产品的研发周期;
- 早期发现问题,减少设计错误;
- 用虚拟样机检验设计方案,降低开发风险;
- 保证使用正确的版本;
- 对工程更改的响应速度快;
- 把潜在问题解决在虚拟环境中,缩短新产品上市时间。

人机工程分析

在装配生产作业中,考虑到工作场所和生产过程中人员表现的重要性日渐突出,工人们在更安全、更符合人因工程学的环境中制造产品时,企业可以极大地改善产品质量、提高作业效率。人机工程仿真可以告诉工程师们工人能够看到和抓住什么,作业环境是否友好,工人们有可能在哪些地方受到伤害,是否会感到“力不从心”或疲劳等一些重要的人机工程信息。

基于国际标准的、不同性别与身材的人体模型库,可以确保工位设计适合各人种类型的工人。用户可以对人工作业进行详细、准确和有效的设计。通过不同的抓握和行走宏命令,可以便捷地定义人体动作。

(1) 人工仿真。

确定产品装配和拆卸的最优操作顺序,通过动态图表和时间顺序,可以了解到装配的可行性和局限性,从而确定最佳操作顺序。

(2) 手工操作的详细设计。

在虚拟的 3D 环境中,发现人体与环境之间的碰撞,分析人员的工作范围,确保人工作业的可行性、人的手臂可达到性以及通过灵活配置的窗口显示工人视野,从工人的视角完成作业可行性检查,合理设计和优化手工操作。

(3) 人机工程学分析。

根据人机工程学的标准约束人工操作。通过使用人机工程学标准方法(如 NIOSH 81 和 NIOSH 91),对抓举和搬运作业进行有效的检查,分析、计算最大接受力,OWAS (Ovako 工作姿态分析系统)方法可以进行工作姿态分析。

(4) 工时分析。

借助 MTM 公布的公认的原始数据表可以确定人工操作的执行时间。用户可以通过工时和人机工程学分析来重新布置工位,使操作更舒适、更高效。

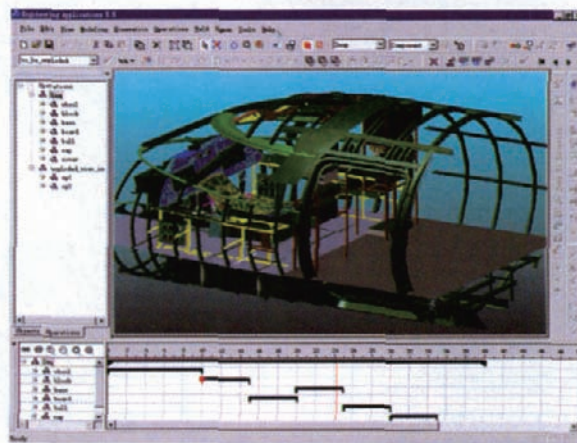
除了装配操作外,人机工程仿真也在多种研发过程中得到广泛的应用。先进的虚拟现实系统可以提供一个虚拟的感觉空间,用户仿佛置身其中。配合使用头盔式显示器、位置跟踪器、数据手套等输入设备,参与者产生一种身临其境、全心投入的、沉浸其中的感觉。研发人员在开发的早期,就能先于真

实的产品获得完全沉浸(Immersive)的体验。对于像坦克、飞机、舰艇等产品的性能验证、操作人员的培训和战场环境的适应都具有重要的作用。

人机工程仿真最初往往是用来解决诸如可达到性、姿态、提举力、节拍等人体自然能力的评估问题,在制定操作指南,编制工时定额,遵从劳保法规等方面提供帮助。近期的发展使他进入了更广泛的应用。在一些复杂产品的研发,重大项目的开发鉴定中,操作者个人或团队被置于大型场景和复杂环境之中,他们互相协调地完成一系列复杂动作的整个操作过程。例如军事上,模拟舰载飞机发动机的拆解、维修、再安装过程中,在舰上狭小的空间和仓内复杂环境的限制下,维修组要在作战条件下,尽快地完成复杂的工作流程并达到严格的质量要求。

结束语

用信息技术改造传统产业,用信息化带动工业化,实现跨越式发展,



Gantt图和装配顺序

已成为我们的国策。越来越多的制造企业从长远发展的战略考虑,精心规划和积极构建企业信息系统集成框架,为深化企业信息共享、推动企业创新打基础。传统的制造行业,特别是装备制造业,在 PLM 战略支持下的数字化制造平台,将给企业创新添加新的活力。(责编 金卯)