

基于虚拟仿真技术的飞机数控加工生产线规划构建

Construction of Production Line Planning of Aircraft CNC Machining Based on Virtual Simulation Technology

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 王宏锋 万 蕾



王宏锋

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司工程师,主要从事飞机先进装配技术研究与应用工作,主要研究方向为生产线规划构建与仿真、虚拟装配等,近年来作为主要参研人员参与了多项国家级重大课题研究,且在飞机研制中得到了应用。

由于传统生产线构建方法无法满足飞机小批量、多型号的快速化生产,以及无法应对新一代飞机数字化设计制造的总体要求,如何节约成本、缩短生产线规划设计周期,在实际生产前进行深入的方案论证及设计优化,合理配置不同生

针对虚拟环境下飞机数控加工生产线规划构建及动态仿真,分析面向对象特点及 Maya 的仿真方法,利用三维专业设计软件来表达飞机数控加工生产线的主要特征及进行动态仿真,建立生产线系统模型。列举了工程应用实例来说明该仿真系统在生产线设计规划中的有效性和通用性,在虚拟环境下科学合理地呈现生产线的总体布局规划、生产运行过程及智能管控流程,对其生产全过程进行三维动态仿真。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.23/24.071

产层级中的各项资源,优化工艺设计,为数字化生产线提供三维可视化模型是当前生产线规划构建急需解决的问题。随着计算机技术的快速发展,三维仿真软件在可视化表达和三维动态仿真上的优点愈发明显,在实际建造生产线前,对生产线中硬件设备布局、工艺规划、生产节拍及产能、配送路径、管控方式等进行三维数模的构建及工艺流程动态仿真,为整体规划设计提供逼真、直观的交流平台,在虚拟环境下呈现出预想效果,对整体方案的创新性、设计的合理性、布局及节拍的最优性、系统运行的流畅

性、技术的先进性及实现难度进行合理评估,从而达到节约成本、缩短研制周期的目的。

面向生产线的虚拟仿真技术

虚拟仿真技术将数字化信息和计算机技术应用于产品的设计与制造,相对于传统生产线建设,虚拟环境下的飞机数控加工生产线是一个全新的概念,它是将虚拟仿真技术、计算机软硬件技术、图形图像处理与模式识别技术应用于生产线的设计规划,以设计规划理论、人机工程学、信息管理知识、实际生产装配工艺等为理论指导的综合技

术。通过虚拟仿真技术,可进行生产线的静态建模及全局动态仿真,实现数据量较大的模型集成和快速表达,在多视角实时观察的虚拟情境下,对整体设计方案进行宏观把控,提出创新性设计思维和意见,验证生产线布局、产能节拍是否合理及人机工程是否科学,通过虚拟仿真逐步替代验证性实物制造^[1]。基于仿真工具开展仿真验证,为生产决策提供数据化支持,在虚拟环境中实时观测车间作业情况,进而用以指导生产线的前期设计构建与调整优化,达到节约资源、降低生产成本、提升产品质量和产能的社会效益和经济效益,使生产线具备虚拟可重构性、修改便捷性、直观性等科学层面和经济层面的众多优点。因此,虚拟仿真技术的应用就是生产线及相关工艺在初级阶段的基本保障。利用虚拟仿真技术设计规划的飞机数控加工生产线布局规划及工艺流程初步方案如图1所示。

虚拟仿真技术可实现方案的快速设计,充分发挥设计规划者的想象力,为创新型设计思维施展提供有力技术支撑,通过方案论证逐步解决设计规划中各种细节问题,实现由宏观到微观、整体到局部的层层深入。面向生产线设计规划的虚拟仿真体系结构以设计为主线,以数模和分析为支撑,综合相关因素选择合理的生产资源优化生产系统参数,使总体工序均衡,满足制造成本、节拍、设备使用率、工人疲劳程度等指标要求。虚拟生产线规划构建体系如图2所示。

飞机数控加工生产线三维模型构建

虚拟环境下的数控加工生产线设计关键在于系统分析和三维建模,根据产品工艺特征、生产场地、加工设备等信息,规划构建三维数

字化生产线模型,合理确定机床、立体工装库、刀具库、运输设备缓冲区和仓库等生产工位的位置,也为后续的工艺流程动态演示奠定基础。

1 飞机数控加工生产线模型特点

飞机数控加工生产线模型构建有其特点,主要表现在以下几个方面。

(1) 模型数据量大。

飞机数控加工生产线划分为多个区域,主要包括数控机床、加工中心、立体工装库、刀具库、运输

导引车、管控区域、办公区域、休息区、物料存放区及辅助设备等,模型数据量和整体运算量巨大,因此简化数据是构建生产线模型的重要问题。

(2) 概念模型数量多。

概念设计是整个生产线设计过程中的最初阶段。研究人员对概念设计的理论与相关技术和装备做了大量研究,数模作为连接概念与现实的桥梁,可使研究人员获得对设计规划更深层次理解,并决策更合适的设计方案。飞机数控加工生产

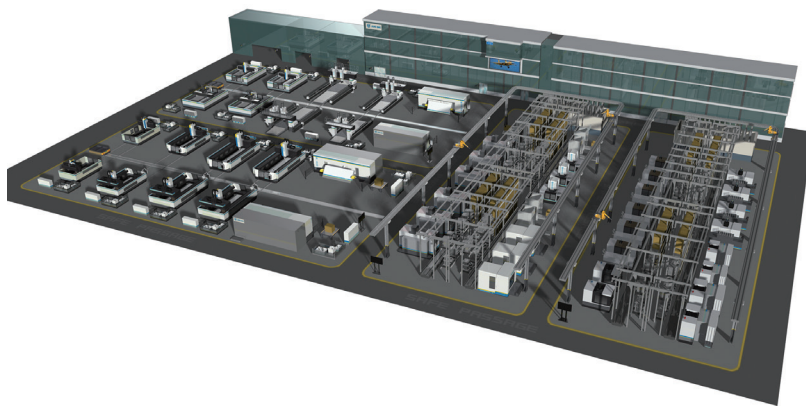


图1 飞机数控加工生产线总体布局规划方案

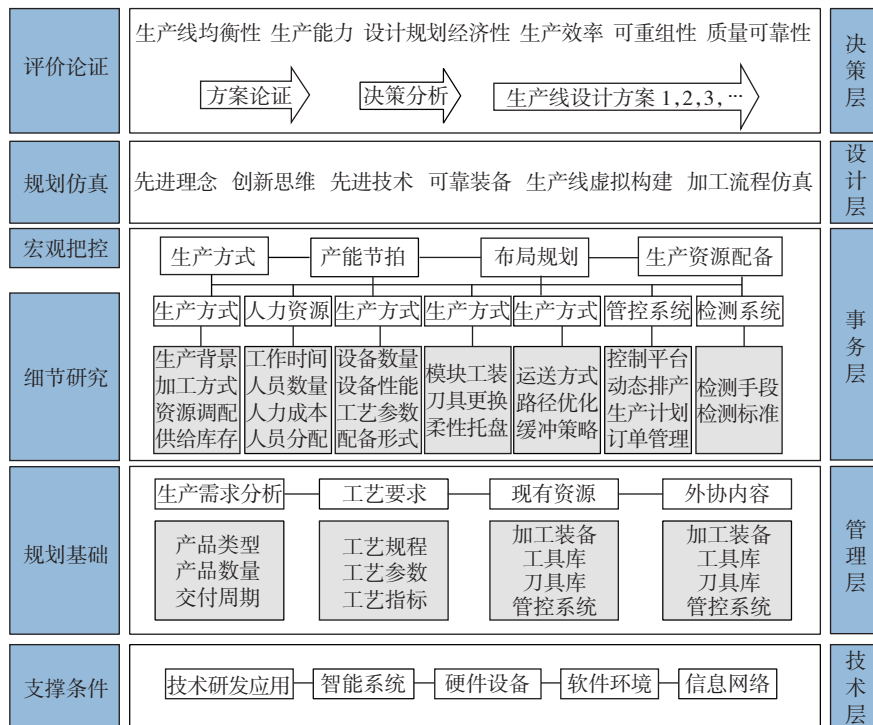


图2 虚拟生产线规划构建体系

线在设计规划初级阶段会有诸多概念和构想,通过快速建模来表达展现创新想法是重要方式,项目前期阶段做出的决策为整个项目的后续发展制定了战略框架。

(3) 模型修改具有反复性。

全新的生产线建设前期需要经过多次的方案论证与优化,许多概念产品在规划设计的某一阶段出现,当方案论证修改时,相关的数模信息也要进行改变,而这种论证具有反复性,所以建模是要充分考虑到修改的反复性,尽量做到模型可重组模块化设计,进而缩短设计周期^[2]。

2 基于 Maya 的模型快速构建技术

随着三维设计软件和计算机技术的不断发展,三维数模贯穿了整个产品设计周期,是科技发展到一定阶段的产物。根据飞机数控加工生产线模型的自身特点,Maya 提供了一套完善的建模体系,主要包括传统的多边形(Polygon)、流行的曲面(Nurbs)和先进细分(Subdivision)及独特的雕刻建模等多种建模方式,从而在建模技术上有更大选择空间。如在机械设备及建筑中,由于许多物体棱角结构突出,如设备、墙角、门窗构成结构等,因此可选择多边形建模;在生物角色和飞机蒙皮等工业模型中,由于对曲面的流畅程度要求较高,则可选择曲面建模,细分曲面建模可简化复杂物体的制作过程,该建模继承了多边形建模对体积的直观控制与曲面建模少量点控制大面积曲面平滑两大技术优势,从而更好地达到快速建模的目的;而雕刻建模是利用软件中雕刻刀工具对初级模型表面进行形态改变,适于构建立体花纹、山脉、复杂地形等模型。

根据飞机数控加工生产线模型特点,可大量采用多边形建模,该技术是最早采用的一种建模技术,基于点、线、面和体要素,是最基

础、最灵活的建模方式,被人们广泛接受。多边形建模的思想是利用多个平面来模拟一个曲面,组成曲面的平面可以是三角形也可以是四边形,通过该方法可用简单的平面建立起复杂的三维模型。

多边形建模可直接创建基本几何体,根据实际情况采用相应修改命令调整模型形状,也可使用放样、布尔运算、组合物体等手段制作。多边形建模的优点在于简便、快捷,飞机数控加工生产线中,工业产品占据多数,采用多边形建模可快速展现真实产品。相比较 CATIA/UG/PRO-E 等工程软件,Maya 优点在于构建速度快,模型数据量小,表现效果逼真,缺点是模型为非实体,主要为面片形式,矢量化表达功能弱。针对该生产线设计规划,Maya 建模可充分发挥其优势,概念阶段模型主要为主体结构,随着流程逐步深入细化,Maya 可容纳上百兆文件、百万个面片,生产线中涉及到的机床、数控中心等全部内容可在一个视窗内多视角编辑和观察,同时兼容多种格式模型且可直接简化使用。因此,采用 Maya 多边形建模技术构建飞机数控加工生产线可提高工作效率,缩短设计规划周期。

3 模型的贴图及材质

在生产线模型构建过程中,必要的材质可增加模型的质感和真实感,Maya 提供了多种材质,常用的有 Lambert、Phong、Blinn、Layer shade 4 种类型,通过赋予模型相应的材质,可明确设计内容,如数控机床需要多个材质体现其特征和效果,机身主体为金属材质,观察视窗为玻璃材质,指示灯罩则为塑料材质,这些材质的赋予还将拓宽讨论思维,在具体材料使用上得出合理化意见。

纹理贴图技术是计算机图形学中广泛应用的一项重要技术。纹理

贴图实际上是一个位图图像,在计算机程序中,一个纹理图像实际是一个一维或二维数组,存储每一个像素的颜色值,分别存储一个像素的红、绿、蓝、透明分值。运用一个纹理贴图,就是把纹理图像根据纹理坐标对应到图元上。

在数控加工生产线构建过程中,部分模型需要通过贴图形式来变现,比如厂房墙体的外立面、厂房内部地面、机床设备的外观色彩等。图 3 为厂房内部的地面贴图模型,通过纹理贴图可以实现模型的数据精简,充分利用设计美学将企业文化和品牌意识融入到生产线的构建过程中,从初期的规划阶段打造科技与文化融合。图 4 为依托沈飞企业文化设计的机床效果图。

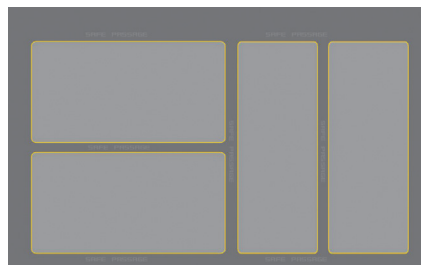


图3 厂房内部地面贴图模型



图4 五坐标强力龙门铣床贴图模型

飞机数控加工生产线 动态仿真

虚拟环境下的三维静态模型构建为整体规划的动态表达及工艺流程仿真提供了基础,通过动态仿真使生产线在虚拟环境下实现多视角、全方位、实时的逼真呈现,对生产线总体布置、运行过程、智能控制过程进行仿真分析研究^[3]。

飞机数控加工生产线建设的宗

旨是形成以国产数控装备为主的自动化、智能化示范应用生产线。该生产线在虚拟环境下的设计规划尤为重要,前期的决策研讨、方案的反复修改与优化,都需要规划设计人员在可视化数模基础上通过 Maya 对生产线整体布局及加工过程进行动态虚拟仿真,展示系统工作流程,通过数据分析优化设计方案。

1 虚拟环境下的动态仿真过程

虚拟环境下动态仿真过程的输入条件是零件产品的加工工艺流程,约束条件是生产线产能和节拍,目标是实现产品的均衡生产。动态仿真以前期构建的生产线静态模型为基础,进行仿真优化验证和可视化演示,根据人机工程相关标准和验证方法优化完善人机环境和交互方式,根据仿真结果修改完善工人调度方案等。这种动态优化过程的试验输出结果可反过来指导静态的规划设计。此外,Maya 为动态仿真提供了一套渲染系统,该系统可真实表达产品的材质和场景的灯光效果,该动态仿真还可作为虚拟现实素材信息,与 VR 软件有转换接口,可方便快捷地实现在虚拟现实环境下的操作和演示。

Maya 中包含多种创建动态仿真方式,包括关键帧动态运动、路径和约束动态表达、骨骼动画、表达式动画和动力学动画等。在生产线动态虚拟仿真中,多为直线运动和人体运动,关键帧动态表达和骨骼动画可完成主要内容,关键帧的动态表达与传统二维动画不同,不需要绘制静态图像,只需记录每个动作序列的起始帧、关键帧和最终帧即可。起始帧和最终帧根据实际要求设定,中间帧由软件自身计算完成。关键帧是指一个动作序列中起决定作用的帧,作为控制对象的坐标和时间标准,关键帧的设定位置和帧数的多少与仿真动作的复

杂程度有关,而关键帧中间的画面就是中间帧。

如图 5 所示, A、B、C、D、E 表示关键帧的位置, U、V 表示中间帧的位置。骨骼动画是运用人体骨骼的运动来带动身体相应部位发生变化,融入了动作捕捉技术和动力学,使得人体的变化姿态更加真实合理,而且解决了皮肤模型的脱节问题,结合人机工程学相关理论方法和数据,通过实际人体动作可有效解决可操作性、可视性、可达性、人机交互过程中的干涉碰撞等问题。科学的人机工程分析可有效反映操作人员工作的舒适度,通过疲劳分析结果进一步指导设计的合理性^[4]。

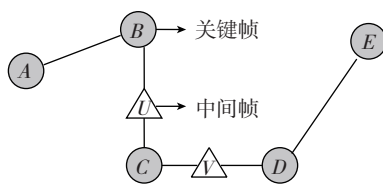
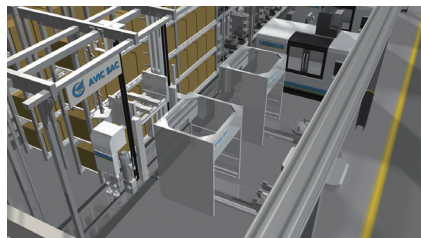


图5 序列帧位置说明

2 生产线局部动态仿真实例

飞机数控加工生产线物流运输过程复杂,通过路径及流程仿真可清晰表达加工过程,检查物体间干涉情况及设计合理性。以自动上下料为例,首先堆垛机的伸缩式叉车将工装运送至出料站,此过程可在 Maya 中采用关键帧制作,选取堆垛机的起始位置和终止位置,对两个不同坐标进行设定关键帧,调节动画时间轴给定时间范围,形成堆垛机的移动动画,当堆垛机和工装同时运动时,可进行成组设定关键帧,确保不同物体之间有相同的运动路径和运动时间,堆垛机上的伸缩叉车将工装中转到出料站,电机驱动滚轴式传送带将工装输送到装卡工作台,此过程包括工装在传送带上的直线运动和电机转动,电机的转动同样由关键帧动画实现;接下来人工将物料安装到工装上,该过程采用骨骼动画进行人物动作编

排,验证人机工程的合理性;最后进料站将安装好物料的工装运送至堆垛机上。图 6 为该过程的部分关键帧画面。



(a) 堆垛机自动上下料



(b) 材料与工件进行装卡固定
图6 物流运输过程部分关键帧画面

结论

数控加工生产线仿真设计规划实现了虚拟环境下的先进设计理念、生产模式和制造技术的集成。随着计算机信息技术及软硬件技术在工业制造领域的不断发展,虚拟制造和实际生产的进一步结合,快速建模、工艺仿真及优化算法的相继推新,虚拟仿真技术在先进生产线设计规划中的应用将会迎来发展的崭新阶段。

参考文献

- [1] 孙连胜, 宁汝新, 王新永, 等. 虚拟制造中生产线可视化设计. 北京理工大学学报, 2002, 22(1): 32-35.
- [2] 杨震, 高俊雄, 张玮昕. 装备虚拟仿真训练应用研究. 计算机与数字工程, 2013(3): 425-428.
- [3] 丁鹏飞, 周世杰, 王贺, 等. 面向航空制造企业的数字化工厂建设方案探讨. 航空制造技术, 2014(14): 51-55.
- [4] MUJBER T S, SZECSI T, HASHMI M S J. Virtual reality applications in manufacturing process simulation. Journal of Materials Processing Technology, 2004: 1834-1838.

(责编 古系)