

面向飞机制造企业基于 3D-PLM 的快速工艺准备技术研究*

Rapid Process Planning Technology Based on 3D-PLM for Aircraft Manufacturing Enterprise

西北工业大学机电学院 贾晓亮 张振明 田锡天 耿俊浩

[摘要] 为了有效解决飞机制造企业快速工艺准备的问题,提出了基于 3D-PLM 的快速工艺准备技术。分析了飞机制造工艺设计与管理及 CAPP 技术的应用现状,对飞机制造企业基于 3D-PLM 的工艺需求和特点进行了分析,提出了基于 3D-PLM 的快速工艺准备技术体系。

关键词: 飞机制造企业 3D-PLM CAPP 快速工艺准备

[ABSTRACT] In order to effectively solve the problem of rapid process planning in aircraft manufacturing enterprise, the approach to rapid process planning based on 3D-PLM is put forward. The process design and management as well as the application state of CAPP technology application in aircraft manufacturing enterprise are analyzed. The process characteristics and needs of rapid process planning based on 3D-PLM in aircraft manufacturing enterprise are described in detail. Technological architecture of rapid process planning based on 3D-PLM is presented.

Keywords: Aircraft manufacturing enterprise 3D-PLM CAPP Rapid process planning

在飞机产品的研制和生产中,工艺准备过程负责确定产品制造过程以及制造所需的制造资源、制造时间等,是连接产品设计与制造的桥梁,对产品研制周期、质量和制造成本具有重要影响,它是飞机产品研制和生产的关键基础技术之一。

自 20 世纪 80 年代以来,CAPP(Computer Aided Process Planning)作为支持快速工艺准备的技术一直是先进制造技术领域研究热点之一,国内外对 CAPP 技术进行了大量的探讨与研究,在技术研究和

工程应用上都取得了很大的发展。20 世纪 90 年代中后期,国外推出了一些商品化 CAPP 系统,如 HMS-CAPP、CS/CAPP、MetCAPP、TexHoΠpo、IntelliCAP 等,从总体来看,以交互式设计和数据化、模型化、集成化为基础,集成 2D-CAD 和数据库技术、网络技术等是这些商品化 CAPP 软件的共同特点。20 世纪 90 年代中后期,国内也开始以交互式为基础的 CAPP 系统的研究、开发与应用,已取得相当显著的效果,并形成一些具有市场影响力的商品化 CAPP 系统,如 CAPPFramework、开目 CAPP、CAXA 工艺图表、TH-CAPP 等。

目前,以交互式为基础,以集成 2D-CAD 数据的 CAPP 在国内已得到广泛的应用,能够满足企业面向 2D-PLM 对工艺设计和管理的基础需求,并且在 2D-PLM 的集成应用中,部分企业进行了以结构化工艺数据交换为核心的数据集成研究,以及设计、工艺数据管理与过程控制一体化的研究和应用。

随着 3D 设计和 3D-PLM 技术的迅速发展,国外各大飞机制造公司特别是以美国、法国为代表的西方著名飞机公司,如 Boeing、Lockhead、Airbus 等公司在快速工艺准备技术的研究和应用上一方面应用商品化 CAPP 系统实现基于 2D 的工艺设计和管理与 2D-PLM 集成应用,建立了电子的工作指令系统,实现了工艺数据的共享工作;同时采用新的技术架构,如达索系统(DS)的 DELMIA 平台,基于 3D 设计模型和 3D-PLM 软件形成面向 3D-PLM 的快速工艺准备系统集成应用,覆盖了产品设计、工艺过程准备、生产制造的完整集成应用模式,并成功地应用于新型飞机的研制和型号技术改造中,实现协同工作以有效提高了工艺的规划和验证效率,缩短了生产周期。如 Boeing 公司在 B787 上实现了整机的 3D 虚拟装配仿真和验证,减少了设计变更,缩短了工艺规划时间。装配周期缩短 50%,工艺设计周期缩短 30%~50%。

当前,随着现代集成制造技术、制造业信息化技

* 国家 863/CIMS 主题资助(2007AA040503);
西北工业大学英才培养计划资助(05XE0127)。

术的发展及其在我国航空制造业的推广和应用,3D-CAD 技术和基于 3D 的 PLM 技术正在成为企业产品创新设计和数字化设计制造的基础平台,这对工艺设计方式、工艺资源及制造数据的管理模式等产生了重大影响,也为快速工艺准备提出了新的需求。国内已有一些研究单位已开展了基于 3D 的工艺准备技术研究,如北京理工大学面向装配规划开展了虚拟装配工艺规划系统 VAPP 的研究,华中科技大学开展了基于 3D 的量化工艺建模与变形工艺设计的技术研究,西北工业大学也进行了基于三维 CAD 的集成化 CAPP 系统技术研究,东南大学开展了 ICAPP 集成化工艺设计和面向虚拟制造的装配规划生成方法的研究。

我国飞机制造企业在工艺设计和管理上基本都实现了基于 2D-PLM 的 CAPP 应用和面向 2D-PLM 的信息集成,解决了企业的工艺编制、工艺数据管理和信息共享等基础的工艺信息化问题,提高了工艺系统的工作效率。但是随着以 3D 模型为基础的产品数字化设计与制造技术的推广和应用,在工艺准备中需要直接利用产品 3D 设计的结果来支持快速工艺设计与管理。因此,随着 3D 数字化设计与制造技术应用的不断深入,面向 3D-PLM 充分利用先进的信息技术,有效地继承和重用丰富的产品 3D 模型资源及 3D 设计结果来支持产品的快速工艺设计,研究开发面向 3D-PLM 的快速工艺准备技术和应用系统,实现基于产品 3D 模型的工艺准备过程与设计、生产的协同和集成,满足飞机产品的快速研制和生产需要,对于提高我国飞机产品的快速研制和生产能力,缩短产品研制周期,提高产品质量,降低制造成本具有重要的现实意义。

1 飞机制造企业基于 3D-PLM 的快速工艺准备需求分析

由于飞机产品结构复杂、数据量大、工程更改频

繁、工艺类型复杂、专业种类繁多,有其独特的工艺过程控制管理体系,因此,对工艺设计和信息管理的要求更高。飞机制造企业目前主要采用手工管理与计算机二维辅助管理相结合的方式编制、管理工艺规程及其他所有工艺文件等工艺信息。

根据飞机制造企业产品特点和应用的研究分析,其对基于 3D-PLM 的快速工艺准备系统具有以下的总体需求,一是如何在工艺设计与管理的过程中充分利用 3D 模型,不断地提高工艺工作的效率;二是在 3D-PLM 以及 2D-PLM 的框架下朝着集成化的方向发展,实现基于 3D 模型的 CAPP 与 CAD、CAM、PDM、ERP 等 CAx 系统的紧密集成,使快速工艺准备系统能够有机融入到现代集成制造系统之中,如图 1 所示。

目前我国 CAPP 技术和系统的研究和应用主要

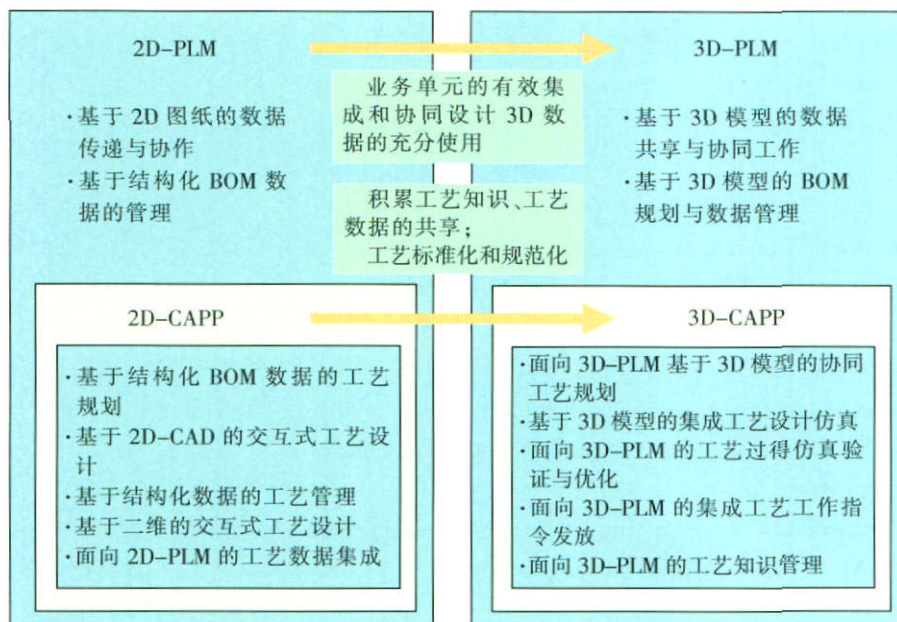


图 1 飞机制造企业基于 3D-PLM 的快速工艺准备系统需求
Fig.1 Needs of rapid process planning based on 3D-PLM in aircraft manufacturing enterprise

还是基于 2D 的工艺交互式设计和较低层次的结构化数据传递的信息集成上,对设计、工艺数据管理与过程控制的集成也是面向 2D-PLM 的初步研究,缺乏从支持基于 3D 面向 PLM 的快速研制和生产的高度开展应用、集成。

随着飞机制造企业信息化应用的深入,在工艺领域单元信息化的基础上,基于 3D 设计模型应用

3D-PLM 和 3D-CAPP 技术, 建立支持从产品初步设计到售后服务的全过程的数字化制造与仿真系统, 实现快速工艺准备, 有效利用积累的工艺数据, 是我国飞机制造业的迫切需要。实际上, 基于我国飞机制造企业的设备现状和制造水平, 如何在现有条件下提高产品工艺准备的效率和水平, 是提高飞机产品的快速响应制造能力亟待解决的问题。基于我国飞机制造企业的现状分析, 基于 3D-PLM 的快速工艺准备系统不能完全照搬国外技术和产品, 必须结合我们自己的现状, 重点解决以下问题:

(1) 由于目前的 CAPP 系统应用基于 2D-CAD 图形信息进行工艺设计与管理, 只是解决了基础的交互式工艺设计和结构化数据管理的问题。缺乏从基于 3D 模型面向 3D-PLM 的需求对快速工艺准备技术和系统的工作模式、系统框架进行深入研究与应用, 以支持基于 3D 模型的设计、工艺和生产的协同工作、装配规划以及数字化制造。

(2) 在工艺领域对设计产生的 3D 模型未能有效使用, 装配工艺设计应用 CAPP 技术, 仍停留在 2D 产品设计的基础上, 未与 3D 模型建立紧密的联系, 无法实现装配工艺过程、零件、资源紧密结合的装配过程仿真, 没有在工艺设计环境实现 3D 的虚拟工艺验证, 在零件的数控加工中, 对 3D 模型的使用不够深入。

(3) 对面向产品生命周期领域的创新型工艺知识的管理工作非常薄弱, 工艺知识不能有效积累、检索和使用, 不能支持创新产品设计和工艺设计, 是制约快速工艺准备的关键瓶颈。如: 复杂的产品及零部件的关键特征及其属性难以在二维视图中表现或识别出来, 难以有效重复利用成功的工艺设计经验和知识。

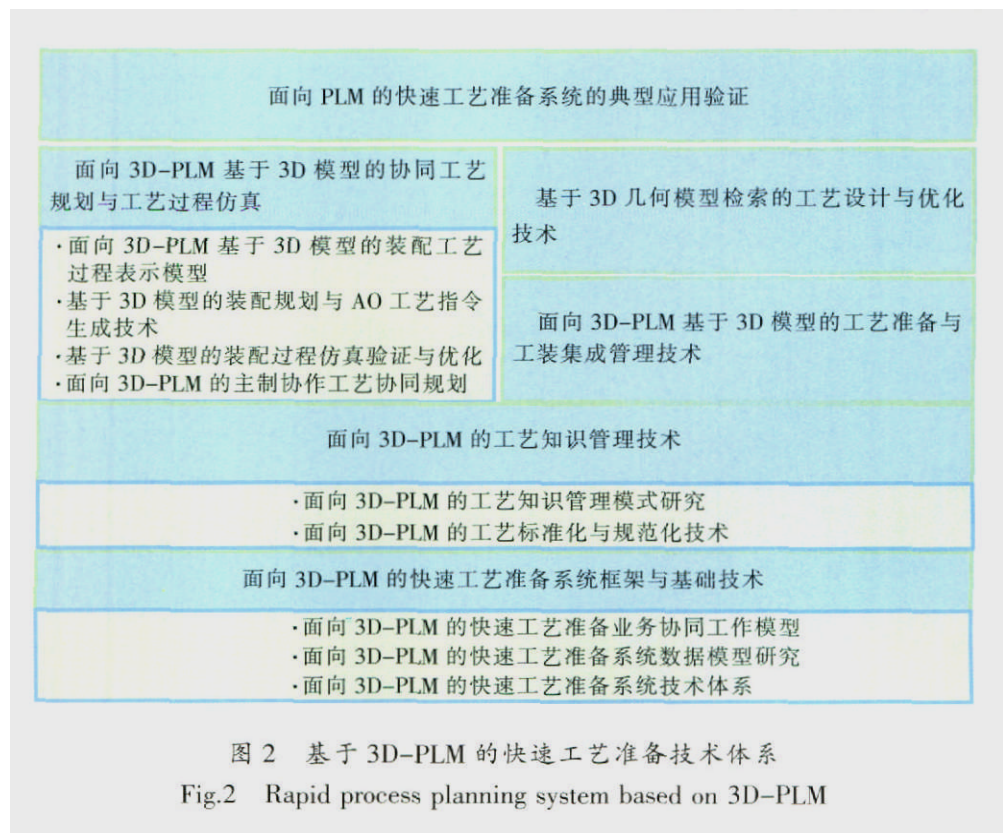
(4) 3D-PLM 需要应用模式上的创新, 强调应用集成与信息共享, 而目前工艺领

域工作的技术和管理的标准化、规范化程度较低, 缺乏从 3D-PLM 的应用模式分析建立包括工作流程、工艺技术标准等标准和规范, 适应基于 3D 模型的快速创新产品研制和生产的需求。

2 飞机制造企业基于 3D-PLM 的快速工艺准备技术体系

基于 3D 模型的 3D-PLM 系统的应用是以企业的三维产品数据为核心, 提供包含概念设计、产品设计、工艺规划、制造、产品维护等在内的完整的产品全生命周期解决方案, 涵盖整个企业和供应链, 协同支持产品定义信息的生成、管理、分发和使用, 推动创新产品的研发, 提高产品研制效率, 实现协同工作, 缩短上市周期, 并提高产品质量和服务水平同时降低成本。在基于 3D-PLM 的快速工艺准备系统中是以工艺业务数据为纽带连接产品、资源和生产数据。因此, 工艺技术准备的规划和设计过程中应从 3D-PLM 的全局考虑基于 3D 模型的产品、工艺、资源、生产等数据之间的内在联系, 在 3D-PLM 框架中进行快速工艺准备工作, 缩短工艺技术准备时间, 实现产品的快速研制。

面向飞机制造企业的技术应用背景和实际需求, 提出了基于 3D-PLM 的快速工艺准备技术体系, 如图



2 所示。

2.1 面向3D-PLM的快速工艺准备系统框架与基础技术

面向 3D-PLM 的需求,从工艺业务的规划、PBOM 管理、工艺设计、工艺仿真和验证、工艺指令管理、MBOM 管理等工作出发,以基于 3D 模型的设计、工艺和制造过程的协同工作和研制周期为目标考虑最优的解决方案,形成覆盖产品概念设计、产品设计、工艺规划、产品生产、质量控制、生产制造的工艺协同工作模式,以集成产品、工艺和资源规划数据,支持产品 3D-PLM 整个过程中的快速工艺准备工作模式和流程。同时以 3D 模型为载体,建立了一个适合整个 3D-PLM 中所有阶段工艺业务管理需求的数据关联模型。面向 3D-PLM 的快速工艺准备系统技术体系,包括功能框架定义、应用构件划分,作为系统设计和开发的基础,覆盖设计协同、工艺规划(工装申请、组件交付规范、交接状态)、工艺设计、PBOM 管理、工艺数据发布、工时定额管理、材料定额管理、装配过程仿真与可视化、MBOM 管理、制造资源管理、工艺知识管理等。

2.2 面向3D-PLM基于3D模型的协同工艺规划与工艺过程仿真

装配工艺是飞机工艺技术准备的重要环节,基于 3D 模型的装配工艺表示主要研究装配工艺过程表示模型,直观地描述产品装配的过程、顺序和分析结果,以及每一过程所涉及的零部件、工序、物料、工装、夹具、设备、工位、工具等,并与 3D 装配模型、装配动画、装配爆炸图、通用装配工艺和生产反馈数据等文件有机结合,形成能直接指导装配车间进行现场装配的 3D 可视化的装配工艺文件,为工艺管理和操作者提供清晰明确的生产指导,反映出物料流程、生产反馈、装配过程的回溯和质量控制。并对基于 3D 模型和制造概念的产品和资源交互性进行动态评估,支持装配优化。

2.3 面向3D-PLM的工艺知识管理技术研究

在飞机的研制和生产过程中,生成和积累了大量、丰富的产品 3D 模型,已成为企业最为重要的信息资源之一,它不仅具有直观形象、易于共享等特点,而且适宜作为产品其他相关信息的可视化载体,是设计思想、设计知识和设计成果的重要体现和结晶。面向 3D-PLM 的工艺知识管理模式研究主要是在 3D-PLM 下工艺业务过程中沉淀的工艺数据和知识与其他产品数据有机结合的管理模式,并以 3D 模型为载体在

统一的管理和支持下,以对工艺知识的分类、存储、规划、挖掘和有效利用为目标,形成一套全相关的、有语义的、量化与质化的工艺知识体系,建立基于 3D-PLM 的统一的工艺知识库,支持快速工艺准备,持续改进并累积个人与集体的知识,用知识代替习惯和经验,形成企业智力的良性循环,满足企业技术创新的要求。

2.4 基于3D几何模型检索的工艺设计与优化技术

在设计制造一体化的数控工艺设计中如何充分利用大量、丰富的产品 3D 模型资源和数控工艺设计结果,实现产品制造工艺相似性的自动匹配和快速判定,通过已有工艺相似性产品的工艺设计成果的准确检索和有效复用,实现 3D 模型检索基础上的相似性工艺快速设计与优化,为飞机的数控工艺提供精确、深入的快速工艺设计支持手段。

2.5 面向3D-PLM基于3D模型的工艺准备与工装集成管理技术

在飞机的制造中,工装设计制造周期占飞机产品研制周期的 60%~70%。面向 3D-PLM 基于 3D 模型的快速工艺准备与工装集成管理技术需要解决工艺准备过程中基于产品 3D 模型的工艺准备过程与工装管理数据的内在关系和组织管理模式,包括基于 3D 模型的工艺规划和 AO/FO 编制中的工装申请与集成管理技术,支持产品 3D-PLM 内基于 3D 模型的产品工艺技术准备与工装部门的协同工作。

3 航空行业基于 3D-PLM 的快速工艺准备系统应用实例

本文以某飞机制造企业为背景进行了基于 3D-PLM 的快速工艺准备系统研究与开发,该企业的生产模式为多型号研制、小批量生产,随着多型号任务的并行开展,迫切要求实现产品的快速研制,要求在工艺设计上采用新的设计和制造手段,建立适应于产品快速研制的快速工艺准备系统(RCAPP)和技术体系。RCAPP 系统的开发基于西北工业大学的 CAPPFramework 产品和 DS 系统有限公司的 DELMIA、CATIA 产品,它面向企业整个工艺系统及相关部门,结合 CAPPFramework 的工艺设计、DELMIA、CATIA、LCA 的统一三维产品数据、数控程序编制与管理等优势,实现整个工艺系统及相关部门业务流程快速准备。

RCAPP 系统围绕产品 BOM 进行数据组织和管理,建立了面向 3D-PLM 的快速工艺准备业务协同工

作模式、面向 3D-PLM 的快速工艺准备系统数据模型,实现了基于 3D 模型的装配规划与 AO 工艺指令生成,初步建立了面向 3D-PLM 的工艺标准化与规范化技术体系,为工艺系统提供了基于 3D-PLM 的快速工艺设计、管理的统一工作平台 RCAPP 系统的体系架构如图 3 所示。

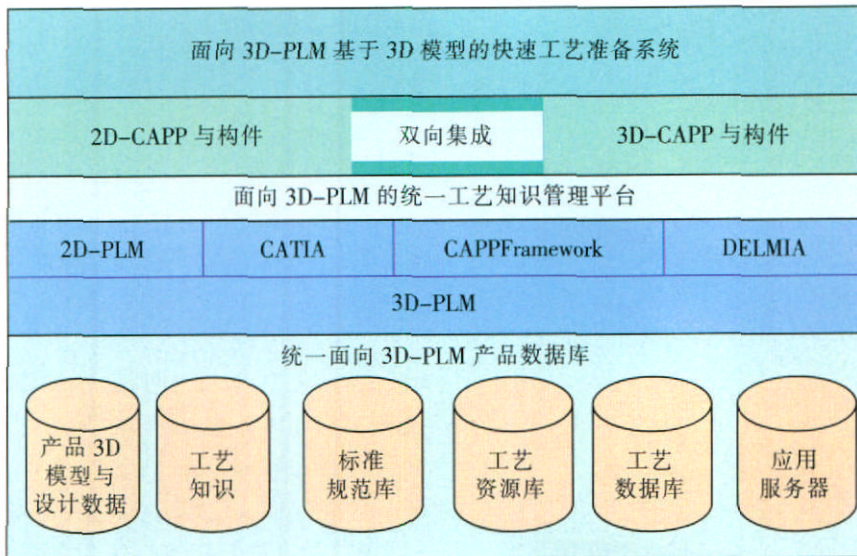


图 3 RCAPP 系统的体系架构
Fig.3 Architecture of RCAPP system

3.1 面向 3D-PLM 的快速工艺准备业务协同工作模式

RCAPP 系统以 DELMIA、CAPPFramework 为工艺规划平台,以研制周期为目标考虑最优的解决方案,基于 3D 模型,从工艺业务的全过程,合理分布工艺审查、PBOM 管理、工艺规划、工艺设计、工艺验证和管理、工艺指令管理、MBOM 管理、工时管理、材料定额管理等功能,在 3D-PLM 的统一控制下形成协同工作。在设计和工艺的协同上,基于 PLM 系统的工作流管理和权限控制机制,在设计和工艺部门之间以 3D 设计模型作为协同的核心基础数据,使得工艺人员能尽早参与到设计活动中,及早发现设计的问题,减少更改。在工艺部门内部的协同上,以 2D-PLM 和 2D-CAPP 的应用为核心,以结构化的工艺数据为基础数据,在工作流程的控制下研究主制工艺与协作工艺的协同工艺编制。在工艺与制造的协同工作上,在工艺规划和工艺设计阶段,通过 3D-PLM 平台使得工艺人员尽早和尽可能获得制造资源、生产线的信息,并通过仿真,保证工艺的正确性。

3.2 面向 3D-PLM 的快速工艺准备系统数据模型

在协同数据管理中,以 LCA 为平台,以 3D 模型为核心,基于结构化 BOM 组织 3D 模型以及产品设计、PBOM、工作指令、工装、NC 程序、物料、制造资源、MBOM、制造数据、质量控制、工时等结构化数据,建立工艺和产品、工艺和资源之间的全部关联。通过面向对象的数据模型表示和符合 XML 规范的模式定义,进行数据模型在各应用系统(CAPPFramework、CATIA、DELMIA、LCA)的映射,保证数据的描述一致性和集成共享。通过 BOM 数据间的各种关系实现产品数据在不同视图间的映射和转换;通过对象版本实现工艺数据的状态管理。

3.3 基于 3D 模型的装配规划与 AO 工艺指令生成

基于 DELMIA 平台,进行产品工艺和资源的规划。利用在产品初步阶段产生的数字样机或 EBOM 数据,构建工艺树,进行产

品分析,工艺流程定义,制定总工艺设计计划,工艺细节规划、工艺路线制定;同时实现工艺方案评估、工时分析,车间设施布局和车间的物流仿真等功能。将原有 CAPPFramework 基于 2D 的 PBOM 及工艺规划、工装申请、组件交付规范等规划功能在 DELMIA 上进行开发、移植,将工艺文件编制和报表输出功能通过 DELMIA 与 CAPPFramework 的集成在 CAPPFramework 实现。通过基于 CAPPFramework 与 DELMIA 的双向集成,整个装配仿真过程经验证无误后,根据需要由 CAPPFramework 生成工艺文档。形成能直接指导工厂装配车间进行现场装配的 AO 工艺指令及可视化装配工艺(AO、AVI 文件、MBOM 报表、零组件配套报表),实现 AO 工艺指令的集成生成和管理。

3.4 面向 3D-PLM 的工艺标准化与规范化

以支持企业知识资产的价值最大化和流程优化为目标进行工艺标准化与规范化的研究,在统一数据模型定义的对象类型上加入查找准则规范,包括属性、链接、链接属性等,支持产品特征级、零件级、部件

(下转第 92 页)

产品工艺仿真模块用于确定产品工艺方案和估算产品的加工时间,限于篇幅,本文不详细叙述。

3 结束语

本课题研究了在敏捷制造模式下企业如何利用和重组现有的制造资源,探索了产品工艺方案的动态规划方法,以实现产品的柔性生产。本课题完成了以下工作:

(1)建立了基于零件的特征信息模型,并以零件的加工特征为基础构建零件的通用工艺模型。该模型包含了所有可能的工艺方案。在实际生产中,以车间当前的资源状况动态确定零件的工艺方案集。

(2)提出了利用遗传算法,以加工时间最短作为优化目标的动态工艺规划方法。

(3)本课题提出的产品动态工艺规划方法基于企业车间实时资源状况,对整个产品的工艺方案进行了优化,并非仅仅针对单个零件。

目前我们已经完成了原型系统的开发,并进行了初步的应用验证,进一步完善后,便能投入实际应用。

参 考 文 献

- [1] 沈斌,陶荣华. 工艺计划与生产调度集成的动态CAPP系统的研究. 组合机床与自动化加工技术,2004(5):45-48.
- [2] Detand J, Leuben K U. The generation of non-linear process plans. The 22nd CIRP International Seminar on Manufacturing System, Section, 1990.
- [3] Kruth J P, Detand J. A CAPP system for nonlinear process planning. Annals CIRP, 1992, 42(1): 489-492.
- [4] Tiwari M K, Vidyarthi N K. An integrated approach to solving the process plan selection problem in an automated manufacturing system. International Journal of Production Research, 1998, 36(8): 2 167-2 184, 1998.
- [5] 刘敏,潘晓弘,张申生. 工艺知识推理使能模型及其实现技术. 高技术通讯,2000(9):77-80.
- [6] 王忠宾,王宁生,陈禹六. 基于遗传算法的工艺路线优化决策. 清华大学学报(自然科学版),2004,44(7):42-36.
- [7] 葛维进,陈卓宁,陈万颂. 专用CAPP定义工具的研究和实践. 机械工艺师,2001(4):14-16.
- [8] Lee H, Kim S S. Integration of process planning and scheduling using simulation based genetic algorithms. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2001, 18: 586-590.

(责编 侧卫)

(上接第 87 页)

级的知识模板,封装 3D 几何定义、相关参数及相关的知识。

4 结束语

通过对我国飞机制造企业快速工艺准备需求、技术和系统的研究,面向飞机工艺系统及相关部门基于 3D-PLM 管理和制造过程集成,解决面向 3D-PLM 基于 3D 模型的快速工艺准备业务协同模式、面向3D-PLM 基于 3D 模型的协同工艺规划与工艺过程仿真、基于 3D 几何模型检索的工艺成组与知识管理等关键技术,构建一套面向 3D-PLM 的快速工艺准备系统构件,是解决型号研制和生产中工艺业务和数据的协同和集成、3D 设计模型的使用等技术问题的基础。

在某飞机制造企业基于 CAPPFramework 和 DELMIA、CATIA、LCA 系统的开发和应用中,实现了面向 3D 产品生命周期全过程进行快速工艺准备技术体系,支持基于 3D 的产品从概念设计、产品设计、工艺规划、制造、质量控制整个过程的快速工艺准备工作,突破了单纯从工艺业务本身以及 2D-PLM 以结构化数据为核心的集成的局限性。在工艺准备中充分使用设计 3D 模型进行工艺与设计的协同,工艺的规划、工艺表示、验证与仿真,实现产品 3D-PLM 框架内设计 3D 模型的在快速工艺准备中的有效使用。通过在企业生产中的实际应用,为工艺系统的快速准备提供了有效的工具和平台,在初步应用中显示了很好的应用效果。

参 考 文 献

- [1] 范玉青. 现代飞机制造技术. 北京:北京航空航天大学出版社,2001.
- [2] 杨玺,范玉青. 飞机制造信息管理系统实现. 中国航空学会工艺专业委员会计算机辅助设计与辅助制造工程学术会议论文集,1999:74-80.
- [3] 崔德刚. 直升机研制与现代集成制造技术. 航空制造技术,2002(4):42-43.
- [4] 晓立. 航空企业信息化访谈录. 航空制造技术,2002(7):29-33.
- [5] Nong Ye. An information processing model for computer-supported assembly planning. International Conference on Advanced Manufacturing Technology, 1999:65-69.
- [6] 约瑟夫·萧塔纳. 制造企业的产品数据管理:原理、概念、策略. 北京:机械工业出版社,2000. (责编 依然)