

# 三维 CAPP 工艺信息表达与集成技术研究\*

## Expression and Integration Technology of Three-Dimensional CAPP Process Information

西北工业大学现代设计与集成制造教育部重点实验室 窦光继 莫蓉 万能

**[摘要]** 针对三维 CAPP 工艺信息的表达与集成技术现状,提出了一种面向工艺过程、基于产品三维模型的机加工工艺信息表达与集成方案,采用工艺结构树表述机加工工艺对象,在三维环境下表达和集成工艺信息,并通过原型系统验证了方法的有效性和实用性。

**关键词:** 三维 CAPP 三维模型 工艺信息 表达与集成

**[ABSTRACT]** In allusion to the status of the expression and integration technology of the three-dimensional CAPP processing information, a machining process information expression and integration method is put forward, which is process-oriented and based on the three-dimensional model of products. The machining process object is represented by the processing structure tree, and the processing information is expressed and collected in the three-dimensional situation. Finally a prototype system is developed to illustrate the feasibility and validity of the proposed method.

**Keywords:** Three-dimensional CAPP Three-dimensional model Process information Expression and integration

计算机辅助工艺设计(Computer Aided Process Planning, CAPP)自诞生以来,一直是制造业信息化的重要技术之一。随着以产品三维模型为基础的数字设计与制造技术的广泛应用,2D-CAPP 系统已不能满足工艺设计与管理的需要,基于产品三维模型进行工艺设计与优化、工艺仿真与优化及可视化装配等已经成为企业的迫切需求;当前国际上 CAPP 技术的开发与应用呈现出“基于三维模型”、“基于知识”、“智能化”、“集成化”等发展趋势<sup>[1-2]</sup>。

实现 CAD 与 CAPP 工艺信息的集成是三维 CAPP 的关键目标之一。目前国内的主要研究都是基于三维

模型实现工艺信息的集成,如贾晓亮等提出的航空复杂产品基于三维产品模型的集成化 CAPP 系统<sup>[3]</sup>。吴江研究了基于特征的集成化产品信息模型,制定了基于特征数据库的集成化 CAPP 工艺设计方法<sup>[4]</sup>;赵震等提出了过程特征的建模技术,对制造过程中半成品的特征进行定义描述,并将产品特征和过程特征统一起来的特征建模技术<sup>[5]</sup>。

因此,充分利用三维模型信息,研究和开发基于三维 CAD 的 CAPP 系统,实现 CAD/CAPP/CAM 系统的有效集成,对促进我国航空制造业信息化水平的提高具有重要的意义。本文面向工艺过程,研究了三维环境下工艺信息的集成与表达方式,实现了基于三维模型的工艺信息集成与应用。

### 1 三维 CAPP 工艺信息表达与集成相关技术

基于三维 CAD 的 CAPP 系统,其关键技术之一是实现三维环境下工艺信息的表达及 CAD 和三维 CAPP 系统之间工艺信息的集成。

#### 1.1 三维 APP 集成的工艺信息分类

工艺信息是产品工程信息的重要组成部分,是实施生产计划和产品制造的重要依据,是产品质量的重要保障。三维 CAPP 系统集成的产品工艺信息包括工艺模型几何信息、所采用加工方法及加工工艺要求等。

(1) 工艺模型几何信息。

包括零件各基本几何形体的表面特征、结构特征、零件的尺寸、基本几何形体或者特征、在零件中所处的位置等。

(2) 加工方法。

包括每工步所用的车、铣、刨、磨等加工方法以及热处理等。

(3) 加工工艺要求。

包括表面粗糙度、形状位置精度要求、操作说明等。

(4) 工艺对象属性信息。

包括工序、工步的属性信息以及设计文档、附加数据等<sup>[6]</sup>。

#### 1.2 CAD / CAPP 系统集成方法

CAD / CAPP 系统集成,分为信息集成、过程集成

\* 工信部“民用飞机维修数字化辅助工具及其应用技术研究”项目、西北工业大学“基于三维环境的机械加工工艺系统”(Z2011082)资助。

和功能集成。目前的 CAD / CAPP 系统集成大多停留在信息集成的基础上。其主要集成方法有以下 3 种<sup>[7]</sup>:

(1) 基于中间文件的系统集成。

基于中间文件的集成方式采用相同的数据交换标准,各个子系统之间是独立的, CAD 和 CAPP 系统可以独立开发。

(2) 基于产品数据管理(PDM)的集成。

在该集成方式下, CAD 和 CAPP 系统之间的数据传输由 PDM 来承担,从信息集成的角度说,仍然属于基于中间文件的方式。

(3) 直接集成。

直接集成最大的特点在于 CAD 和 CAPP 是一个高度集成的整体。由于子系统的功能都集成在 CAD 软件平台上,有效地实现了 CAD / CAPP 系统的信息集成和功能集成。

### 1.3 三维实体模型作为工艺模型特征信息载体

如何从 CAD 获取三维实体模型的几何特征信息和工艺信息,以及将其传递到 CAPP 中,是 CAD 与 CAPP 集成的关键问题。CAD 中的三维几何模型包含了模型的几何特征信息,为满足工艺设计的需要,还需要将尺寸公差、型位公差、表面粗糙度、操作说明等相关工艺信息添加到三维模型中,例如尺寸公差以三维标注公差特征的形式与三维几何模型关联。将三维实体作为工艺信息载体,既为 CAPP 提供了准确而丰富的信息源,又保证了 CAD、CAPP 数据的一致性。将工艺模型作为工艺信息载体有着以下的一些优点:

(1) 相对于二维工程图,特征信息的表达更充分、直观。

(2) 当工艺模型发生改变时,工艺模型特征信息的更新将更迅速、方便。

(3) 工艺模型上的特征信息,提供了进行定性或定量分析的数据来源,便于进行机械加工(以下简称机加)工艺的分析与优化设计。

### 1.4 面向工艺过程的工艺信息组织与管理形式

一个工艺规程可细化为多道工序,工序又可细化成工步,依据产品生产制造过程中各工艺活动之间的先后顺序关系,把它们相互连接起来形成的产品工艺活动链,称为工艺结构树或电子工艺清单(EBOP)。在工艺结构树中用根节点代表工艺规程,一级子节点和二级子节点分别表示工艺规程中的工序和工步;工艺结构树的层次结构关系代表了工艺设计的具体过程,工艺结构树的形成过程,也是实现从毛坯到产品的完整工艺过程<sup>[8-9]</sup>。

另外通过给工艺结构树上的节点关联工艺卡片和三维模型信息,最终形成一个包含工艺信息的树状视图。通过遍历工艺结构树,可以方便地浏览工艺过程中

的设计数据、制造资源等,对相应的工艺信息进行分析 and 汇总。

## 2 系统流程与关键技术

三维 CAPP 是在三维环境下进行工艺设计。本文面向工艺过程,针对工艺结构树上的每个工序 / 工步节点,集成相关节点属性信息、加工方法、三维模型几何信息、机加工工艺要求等;当工艺规程编制完成时,工艺信息的收集随之完成。工艺信息集成系统流程如图 1 所示。具体解释如下:

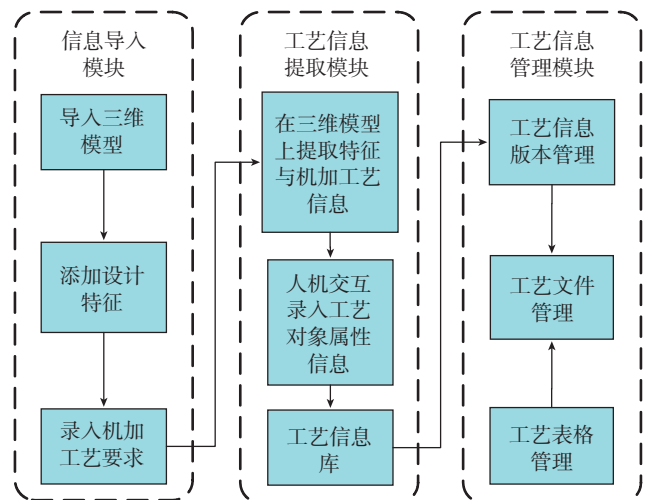


图1 工艺信息集成系统流程图

Fig.1 Process flow chart of information integration system

(1) 在模型信息导入模块,首先在基于 CAD 软件开发的三维工艺设计环境下导入三维模型,运用 CAD 软件的工具或是二次开发的辅助生成工具添加设计特征,进行工艺设计,并在三维模型上添加机加工工艺要求等标注信息。

(2) 在工艺信息集成模块,通过在三维工艺模型上获取设计特征信息与机加工工艺信息,再用人机交互的方式录入工艺对象信息,形成工艺信息库。

(3) 在工艺信息管理模块,管理工艺信息及工艺信息的显示与存储格式、版本等,并生成工艺文件。

工艺员在工艺结构树上编写工艺规程,并录入相应的工艺信息等。工艺结构树上的每个工艺节点都关联着相应的工艺模型及工艺卡片,工艺员通过工艺卡片录入和查看工艺信息,并在三维模型上进行工艺设计,添加工艺设计信息及加工要求等。

图 2 通过对不同的工艺数据类型进行归纳和总结,同时依据工艺规程结构树的三级节点结构,将工艺卡片划分为工艺属性卡片、工序属性卡片和工步属性卡片,工艺属性卡片显示工艺规程的属性,工序属性卡片显示

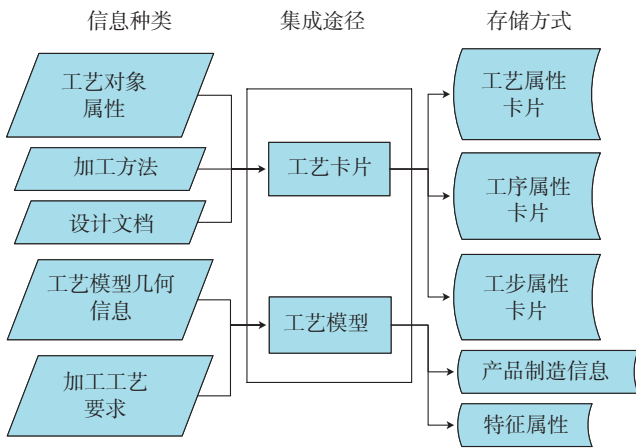


图2 工艺信息表达与集成示意图  
Fig.2 Diagram of expression and integration of process information

工序的属性、工序的设计文档以及附加数据等信息,工步属性卡片显示工步的属性,如图3所示。对应数据库中设计3种工艺数据对象存储结构:工艺属性卡片格式、工序卡片格式和工步卡片格式,并建立工艺卡片与对应工艺数据存储格式的映射关系。

通过将三维实体作为工艺信息载体,在工艺模型上添加设计及制造信息,直观的显示加工工艺要求及结果。利用二次开发工具在工艺模型上收集几何特征信息、

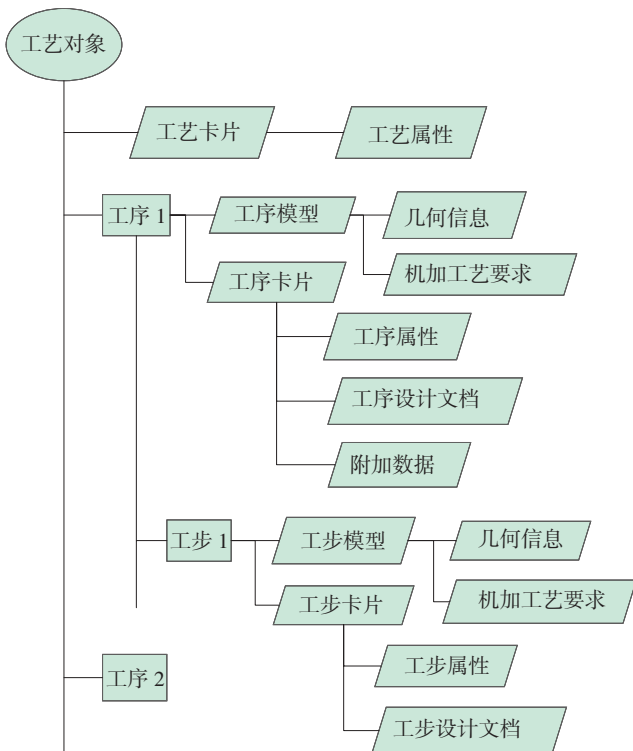


图3 工艺结构树数据组织结构  
Fig.3 Process tree data structure

息、工艺信息等存储在数据库中。其中特征属性包括模型特征名称、形状、几何尺寸等,产品制造信息包括注释、符号、型位公差、尺寸等。

系统通过定制工艺卡片来提供统一的工艺信息录入环境,并实现工艺卡片与工艺数据的分离;在三维环境下来表达和展示工艺信息。

### 2.1 工艺卡片与工艺数据的分离模型

工艺设计中涉及的工艺数据种类繁多,工艺信息的汇总和存储也相对复杂,为了有效地收集和存储工艺信息,工艺数据的组织结构就显得尤为重要。工艺卡片格式是一个完整的工艺中所包含的工艺数据及其类型,以及工艺数据之间结构关系的总和,即工艺数据的组织形式。其包括两部分:工艺数据的存储结构和工艺卡片的显示形式,工艺卡片上的内容实际上是数据库中工艺数据的显示结果,通过对工艺数据的格式化处理,将工艺卡片和工艺数据相分离。这样即使企业的工艺标准更新了,工艺数据依然可以复用,保证了工艺设计的连续性<sup>[10]</sup>。

### 2.2 工艺信息的表达与多视图展示

在三维CAPP中,工艺设计过程是在全三维环境下进行的,工艺信息的录入和浏览也需要借助CAD软件的功能来实现。因为除了在工艺卡片上录入属性信息外,还需要记录工艺模型几何信息、机加工工艺要求等信息。

通过将工艺模型作为工艺信息载体的方法,将工艺模型的特征信息、机加工工艺要求直接标注在工步模型上,然后利用三维视图和剖视图来全方位、多角度展示工艺信息。工艺员可以在工步模型上选择适当的角度,通过开发的视图定制工具或是利用CAD软件工具来定义视图以及剖视图等,获得比二维工程图更全面、直观的信息。

## 3 系统实例

本文基于具体的用户需求,研究针对航空发动机的三维CAPP系统信息集成与表达技术。采用直接集成的方法,探讨基于NX的三维CAPP系统工艺信息的集成与表达方法,并给出了系统原型,图4是系统的工艺设计流程图。

系统基于VS2005以NX6.0为平台进行二次开发。其中,利用MFC开发系统界面,包括工艺结构树和工艺卡片界面,利用XML结构化存储语言储存工艺结构树及工艺卡片信息。工艺员首先启动UG,在主菜单上选中3MPPS(Three-dimensional Machining Process Planning System)系统菜单,在弹出的用户界面上新建或是打开已有的三维工艺规程,然后在工艺结构树上进

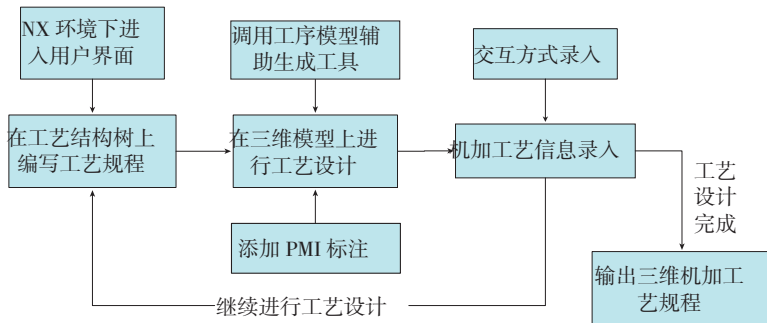


图4 工艺设计流程图  
Fig.4 Process design flow chart

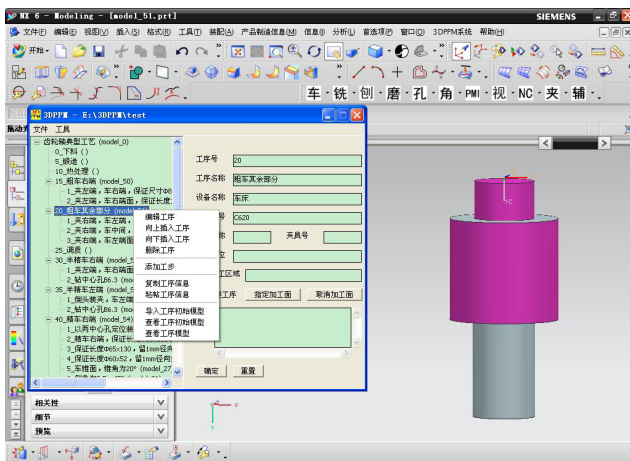


图5 系统界面  
Fig.5 System interface

行工艺设计。

以一个齿轮轴为例,工艺员在工艺结构树界面上利用右键菜单工具进行工艺过程设计与编辑、浏览工艺模型等操作,工艺卡片界面则显示选中工艺节点的卡片信息(初始化为空值),如图5所示。系统利用XML实现工艺结构树三级节点的结构化存储,并记录相应节点的工艺信息。当工艺员进行工艺设计时,XML将实时更新工艺结构树的存储结构,并自动收集工艺结构树节点属性信息、关联的工艺卡片信息以及对应的工艺模型名称等<sup>[11]</sup>。

另外借助NX PMI解决方案,将原来在二维工程图上标示的特征信息和加工工艺要求直接嵌入到三维工艺模型中,并通过定制特定的视图有针对性、全方位地展示三维模型的机加工工艺信息。

#### 4 结束语

基于三维CAD进行工艺设计是当前先进制造技术领域研究的热点之一。本文结合我国航空制造企业的具体需求,研究在三维环境下进行工艺设计及工艺信息

集成的新方法。系统运用工艺结构树组织系统结构,将三维模型作为工艺信息载体与信息集成来源,在三维环境下表达和集成工艺信息,并结合系统实例进行了验证。

#### 参考文献

- [1] 张振明. 现代CAPP的应用与发展趋势. CAD/CAM与制造业信息化, 2004(1):30-31.
- [2] 刘艳斌, 赵海兵. 基于3D-CAPP技术及其发展研究. 机械制造, 2006, 44(9):14-16.
- [3] 贾晓亮, 田锡天, 耿俊浩, 等. 航空复杂产品基于三维产品模型的集成化CAPP系统研究. 制造业自动化, 2009, 31(2):82-85.
- [4] 吴江. 基于特征识别的CAD/CAPP集成技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2005.
- [5] 赵震, 夏芳臣, 涂海宁, 等. 基于三维CAD过程特征的CAPP系统研究. 装备制造技术, 2010(5):80-81.
- [6] 黄利江, 张振明, 田锡天, 等. 产品工艺信息的集成与应用. 航空制造技术, 2008(2):75-77.
- [7] 徐正, 张国军, 邵新宇. 三维环境下CAD/CAPP集成方法研究. 机械设计与制造, 2008(8):55-57.
- [8] 周秋忠, 范玉青. 基于EBOP的复杂产品工艺数据模型研究. 制造业自动化, 2008, 30(8):15-18.
- [9] 张述初. 工艺信息自动汇总的研究与实践[D]. 武汉: 华中科技大学, 2003.
- [10] 程璞. UG环境下基于加工特征的三维CAPP系统开发[D]. 西安: 西安工业大学, 2009.
- [11] 蔡长韬. 基于STEP/XML的集成化工艺信息描述方法研究. 计算机集成制造系统, 2008, 14(5):912-917.

(责编 小城)

(上接第91页)

#### 参考文献

- [1] 贾希胜, 贾云献, 温亮. 以可靠性为中心的维修及其模型支持. 机械工程学院学报, 2004, 16(1):15-19.
- [2] 苏春, 黄苗. 以可靠性为中心的维修成本优化模型及其应用. 机械科学与技术, 2007, 26(12):1556-1559.
- [3] 杨春节, 童晟, 孙长生, 等. 基于可靠度约束的混合预防性维修模型. 浙江大学学报, 2008, 42(8): 1376-1379.
- [4] 金焱, 王莹, 潘尔顺. 基于可靠度限制的PM与EPQ整合模型. 工业工程与管理, 2010, 15(5):65-69.
- [5] Bertling L, Allan R, Eriksson R. A reliability-centered asset maintenance method for assessing the impact of maintenance in power distribution systems. IEEE Transactions, 2005, 20 (1): 75-82.
- [6] Celso Marcelo F. Lapa, Claudio Marcio N.A. A model for preventive maintenance planning by genetic algorithms based in cost and reliability. Reliability Engineering & System Safety, 2006, 91(2):233-240.
- [7] Amir Khanlari, Kaveh Mohammadi, Babak Sohrabi. Prioritizing equipments for preventive maintenance activities using fuzzy rules. Computers & Industrial Engineering, 2008, 54(2):169-184.

(责编 亦非)