

# 基于 CATIA 与 DELMIA 集成的三维机加工工艺设计技术研究

## 3D Machining Process Planning Design Based on CATIA and DELMIA

西北工业大学现代设计与集成制造教育部重点实验室 蔡瑞环 贾晓亮



蔡瑞环

西北工业大学机电学院硕士研究生,主要研究方向为航空制造工艺与装备数字化、计算机辅助工艺设计(CAPP)及工程更改管理(ECM)等。

MBD (Model Based Definition) 即基于模型的工程定义,用集成的三维实体模型来完整表达产品定义信息。基于 MBD 的三维模型贯穿于产品设计、工装、工艺、制造和装配等生产的各个环节。在设计、工艺和制造集成发展的趋势下,传统以二维工艺

随着三维 CAD 技术的深化应用,基于模型定义的数字化设计与制造技术已经成为制造业信息化的发展趋势,而三维工序模型驱动的三维机加工工艺设计方法将会越来越得到重视。

卡片作为传递设计与制造信息的手段已经与三维设计环境不相协调,三维环境下进行产品的工艺设计已经成为一种趋势。

三维环境下工艺设计方法的基本思路是从零件设计模型上获取加工特征,然后根据这些加工特征信息进行加工工艺规划<sup>[1]</sup>。田富君、耿俊浩等人提出的工序模型驱动的工艺设计方法,是从零件设计模型到毛坯模型逆向生成零件的加工工序,每规划一道工序,生成一个工序模型,然后基于该工序模型进行下一道工序的规划。该方法通过对影响工艺自动决策的关键技术进行研究,设计了用于工艺规划的三维集成化工艺设计系统。然而,该方法并未从 MBD 技术应用的角度去探索机加工工艺设计,没有将三维工序模型作为表达工艺信息的唯一载体。考虑到我国飞

机主机制造中的软件环境和 MBD 技术的发展趋势,利用数字化制造软件 CATIA 与 DELMIA 集成化环境进行基于 MBD 的三维机加工工艺设计意义重大。当前的 CATIA 与 DELMIA 集成化环境并未与机加工工艺规划等工作构成完整的 MBD 技术应用体系,也不具备输出定制化的三维工艺文档的功能。同时,在构建三维工序模型时对于特征树的操作也严重影响了建模的效率。

因此,本文通过在 CATIA 与 DELMIA 集成环境下建立零件的三维工序模型,介绍了三维工序模型驱动的机加工工艺设计方法;利用 CATIA Automation 技术开发出基于 CATIA 与 DELMIA 集成环境的三维机加工工艺设计系统 3D-MPDS,实现基于 MBD 的三维机加工工艺设计,形成了完整的三维机加工工艺设计体系。

### 三维工序模型驱动的机加工工艺设计方法

传统的机加工工艺设计方法是建立二维工艺卡片的过程,在计算机辅助工艺规划 (Computer Aided Process Planning, CAPP) 系统中绘制工序模型的二维工程简图,填写工艺规程/工序/工步等信息,最后打印形成纸质工艺卡片。工序模型驱动的机加工工艺设计方法引入了工序模型的概念,表现机加过程的中间特征,以工序模型作为参考进行二维环境下的工艺设计,输出二维工艺文件。工序模型驱动的机加工工艺设计方法仅从工艺设计的有效性和直观性考虑,并未脱离传统的机加工工艺设计方法。

在 MBD 技术中,产品的三维模型作为其信息的唯一载体,处于技术的核心地位,包含了产品的所有信息。从制造角度考虑,零件设计模型可以认为是经过一系列加工工序逐步对毛坯模型进行切削加工后形成的<sup>[2]</sup>。在由毛坯模型到设计模型的加工过程中,零件经历多个中间工艺

状态,以每一道工序作为工艺状态划分节点,利用三维手段表现工序加工结果建立承载机加工工艺信息的三维模型称为三维工序模型。与工序模型驱动的机加工工艺设计方法中的工序模型不同的是,三维工序模型是基于 MBD 技术建立的承载一道工序所有信息的实体模型,零件的工艺设计与管理均在全三维环境下进行。为了与工序模型驱动的工艺设计方法区别,文中的工艺设计方法称为三维工序模型驱动的机加工工艺设计方法。

三维工序模型驱动的机加工工艺设计方法可由图 1 表示。该方法是在工序模型驱动的工艺设计方法的基础上,将二维环境下的工艺规划等活动置于三维环境下进行,构建基于 MBD 的三维工序模型,生成三维的工艺文件,并且可以和其他系统进行数据传递。三维工序模型的构建是三维机加工工艺设计方法的核心。在三维工序模型的构建过程中,利用三维机加工工艺设计系统完成工艺规划,再由数字化制造软件提供几何特征模型,然后将工艺信息添加在

对应的几何模型上,最终形成三维工序模型。目前,我国在飞机主机生产中普遍使用 CATIA 与 DELMIA 来进行产品建模和仿真。在 CATIA 与 DELMIA 集成环境下进行三维机加工工艺设计,首先利用三维机加工工艺设计系统完成一道工序的工艺规划,再通过 DELMIA 建立在制品工序几何模型 (In-Process-Model, IPM),最后在 CATIA 中管理与几何模型关联的工艺信息。

IPM 的创建方式有修订式和创成式两种。修订式的建模方式就是利用相似性,通过继承、布尔运算 (主要是移除)、参数修改等方式创建 IPM。修订式 IPM 具体又可以通过顺序和逆序两种方式建立。顺序方式,即按照加工顺序,从毛坯一步一步形成零件的过程,该过程主要通过继承和正则布尔运算实现;逆序方式,即将设计模型反补形成毛坯的过程,该过程通过继承和加工特征修改或删除实现<sup>[2]</sup>。作者采用修订式顺序方式创建零件加工的三维工序模型。(1) 利用三维工艺设计系

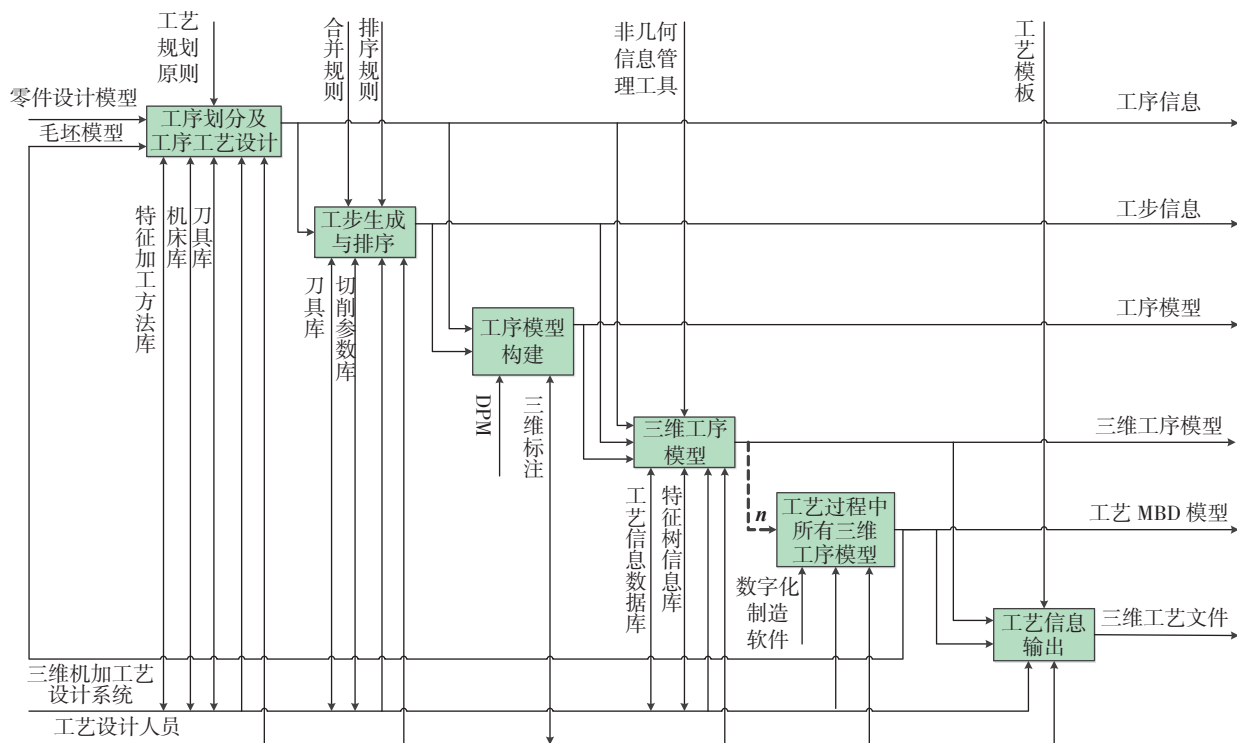


图1 三维工序模型驱动的机加工工艺设计方法

统完成一道工序的工艺设计;(2)在 DELMIA 的数字化制造工艺(Digital Process of Manufacturing, DPM)中,以工序为 IPM 划分节点,以加工特征作为加工过程的基本单元,参照完成工艺设计工序的工艺信息,生成该工序对应的 IPM;(3)对 IPM 进行三维标注;(4)管理与 IPM 紧密关联的非几何工艺信息,形成一个完整的三维工序模型;(5)重复以上动作,直到遍历所有的工序划分节点,建立工艺过程中所有工序的三维工序模型,最终形成完整的三维工艺文档。

值得一提的是,在只运行 CATIA 软件的环境下也可以构建出零件加工工序几何模型,但是这样构建出的工序模型缺少关联性,且不具备通过颜色来自动识别加工特征的功能。

## 机加工工艺 MBD 数据集研究

### 1 机加工工艺 MBD 数据集的内容

产品信息有着数据量大,内容复杂等特点。包含有零件设计、工艺、制造、检验等各部门信息的 MBD 数据集用于管理零件的设计、制造和检验信息,使得参与产品研制的人员在在同一产品模型上协同工作,提高了设计效率,保证了产品质量。参考 MBD 数据集的概念,本文提出了机加工工艺 MBD 数据集的定义,即以 MBD 概念和技术为基础,在产品阶段、加工工艺规划阶段和现场制造阶段等过程中用到的所有信息的集合。利用机加工工艺 MBD 数据集对机加工工艺信息进行管理,是对 MBD 数据集的专业化应用。

同一般意义上的 MBD 数据集相比,机加工工艺 MBD 数据集也由几何信息和非几何信息组成,并且一般 MBD 数据集中的标注说明、标准说明等项目也包含在机加工工艺 MBD 数据集的内容中。但是,机械加工工艺 MBD 数据集还包括了零件的机加工工艺信息和制造资源信息等内容,详细规定了加工工艺路线以及所需要的

制造资源。一个完整的机械加工工艺 MBD 数据集包括零件设计、加工工艺和制造资源三部分。其中,零件设计部分包括毛坯模型和设计 MBD 模型,设计 MBD 模型作为载体表达了一般意义上的 MBD 数据集的内容;加工工艺部分是机加工工艺 MBD 数据集的核心,以三维工序模型为载体,表达和管理产品的工艺信息;制造资源部分则是用来管理产品制造过程中夹具、刀具及量具等装备的信息。

机加工工艺 MBD 数据集采用分类管理、分层显示的方法,将零件的设计信息、机加工工艺信息和制造资源信息分类保存在不同数据库中。在各自类别下,利用数据的关联性以层的形式进行数据显示和管理,如加工工艺类下包含工序三维模型、工艺规程和工艺分工 3 方面的信息,并且工艺规程下包含了工序等信息,工序下又包含了工序编号、工序说明等内容。

### 2 机加工工艺 MBD 数据集的管理和表达

基于 MBD 的产品数据管理方法一般采用特征树法。这种方法是指利用建模过程中对产品特征描述的不同,建立相应的特征树,并通过选择显示的方式实现对产品信息分类显示阅读的一种方法。采用特征树法,可以实现对所有元素的分类控制,分层显示,方便对产品的几何信息与非几何信息进行表达。以零部件对象为中心把所有的产品设计数据如几何模型、原材料,工艺数据如工艺规程、工艺操作动画、工艺图解等和生产数据如执行参数、供应商等组织在特征树上。同时,在 MBD 数据组织模式中,某工艺相关的操作动画、工艺图解和工艺参数与其工艺规程数据具有关联关系,它们归属于该工艺规程数据,并保持版本等信息的整体一致。特征树有着巨大的优势:用户使用 CATIA 中显示、隐藏、旋转、平移等常用功能就能方便地查询到

所需的定义数据或要求;特征树也方便了定义内容与产品全生命周期管理(Product Lifecycle Management, PLM)系统的交互和集成。在基于 MBD 的机加工工艺设计方法中,产品通用非几何信息如“标注说明”、“零件说明”、“材料说明”、“管理信息”等信息,以及机加工工艺信息如工艺规程、制造资源等信息都以参数的形式在零件的特征树上显性表达,并且和几何信息集成到同一个三维模型中。

## 基于 CATIA 与 DELMIA 的三维机加工工艺设计系统

### 1 CATIA 与 DELMIA 集成环境下进行三维机加工工艺设计存在的问题

在三维工序模型驱动的工艺设计方法中,涉及工艺规划、三维工序模型构建以及工艺信息输出等多个方面的功能需求。三维工序模型作为该工艺设计方法的核心,其他工作围绕三维工序模型的构建进行。目前,在 CATIA 与 DELMIA 集成环境下进行三维机加工工艺设计时主要存在以下问题:(1)工艺规划过程与三维工序模型构建过程相分离,交互性差。在 CATIA 与 DELMIA 集成环境下进行机加工工艺规划时,一般依靠 DELMIA 工艺规划模块(DELMI process engineering, DPE)或者独立的 CAPP 系统。无论采用哪种方式,都是在独立的系统中进行,使得工艺规划过程无法与三维模型产生即时交互,对工艺信息的管理和维护带来不便。(2)构建三维工序模型操作不便,工艺设计效率低。在 CATIA 与 DELMIA 集成环境下进行三维工序模型的构建需要不断切换软件的多个功能模块来完成操作,产生了大量的重复性劳动,工艺设计效率大打折扣,尤其在利用特征树对非几何信息进行管理时,严重影响了工艺设计工作的进度。(3)缺少输出定制的三维工艺文件的功能。DELMIA 虽然有用工艺规划的功能模块 DPE,

但是该模块缺少输出与三维工序模型紧密关联的定制格式的三维工艺文件的功能。

针对以上问题,设计并开发了一个三维机加工工艺设计系统 3D-MPDS,用于在 CATIA 与 DELMIA 集成环境下进行三维机加工工艺设计。

## 2 系统设计

CATIA 与 DELMIA 软件为用户提供了丰富的二次开发接口,用户可以依据自己的需要对软件进行定制开发。基于 CATIA 与 DELMIA 软件二次开发技术的三维机加工工艺设计系统 3D-MPDS 的功能架构如图 2 所示。系统主要由工艺过程规划模块、非几何信息管理与维护模块及工艺信息提取和管理模块组成。其中,工艺过程规划模块与工艺信息数据库连接,通过在系统与数据库的即时交互实现对工艺信息的提取、决策和浏览等操作;非几何信息管理与维护模块通过特征树与特征树节点信息数据库交互,实现对机加工工艺 MBD 数据集非几何信息的管理;工艺信息提取和管理模块通过读取三维工序模型特征树节点的内容和导出三维工序模型,将几何信息与非

几何信息添加在定制格式的工艺文档中形成三维工艺文件。

(1) 工艺过程规划模块。参考 CAPP 系统的设计思想,将传统 CAPP 系统下进行的工艺设计过程引入到三维环境下进行,通过 3D-MPDS 与 CATIA 及 DELMIA 软件的交互操作完成工艺规划。(2) 非几何信息管理与维护模块。在基于 MBD 技术的三维工序模型中,用于管理模型非几何信息的 CATIA 特征树的结构如图 3 所示。几何图形集 Hybridbodies 作为当前 Part 对象下的重要对象,包含了许多特定的混合对象 Hybridbody,而 Hybridbody 对象下的 Parameters 集合主要用于添加属性信息。结合特征树的特点以及构建三维工序模型的功能需求,设计的非几何信息管理与维护模块。程序顶端与选取的几何模型相关联,底端与加工工艺数据库相连接。选定几何特征模型后,从底端的数据库中查询需要的非几何信息,人工决策后添加到特征树上。特征树节点的删除和查询也通过该模块来完成。(3) 机

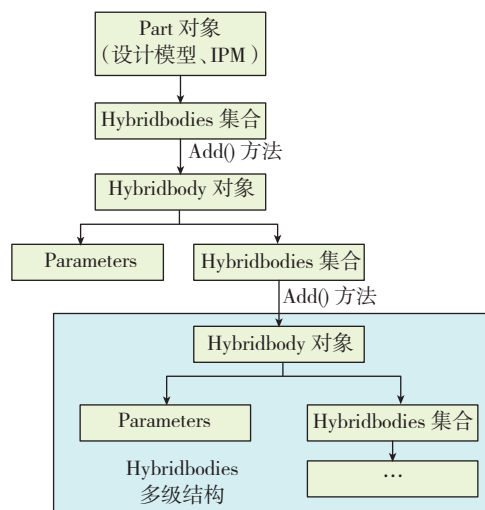


图3 CATIA特征树结构

加工工艺信息的提取与管理模块。对于机械加工工艺信息的提取包括对特征树中非几何信息以及几何模型上几何信息的提取,文献 [1] 中已经开发出了相对比较完善的工艺信息管理系统,实现几何信息与非几何信息的表达。但是,该系统是面向二维环境的工艺设计管理系统,并且操作较为复杂,适合工艺设计人员和工艺审查人员的使用,不适合车间工人的使用,为此在本系统中添加了工艺信息提取与存储模块。该模块通过 CATIA 与 EXCEL 二次开发技术的结合,生成定制的三维工艺文件,并且可以向 PLM 等系统传递数据。

## 系统开发

基于 CATIA V5R17 与 DELMIA V5R17 集成环境,作者利用 Visual Basic 6.0 开发工具开发了一个三维机加工工艺设计系统 3D-MPDS,实现三维环境下机加工工艺规划、机加三维工序模型的快速构建和工艺信息管理。以下为 3D-MPDS 用于某一型号飞机双面大框零件三维机加工工艺设计时的工作过程。(1) 启动 3D-MPDS,同时自动打开 CATIA 与 DELMIA 集成环境。(2) 在 DELMIA 环境下利用 3D-MPDS 的机加工工艺规划模块完成一道工序的工艺设

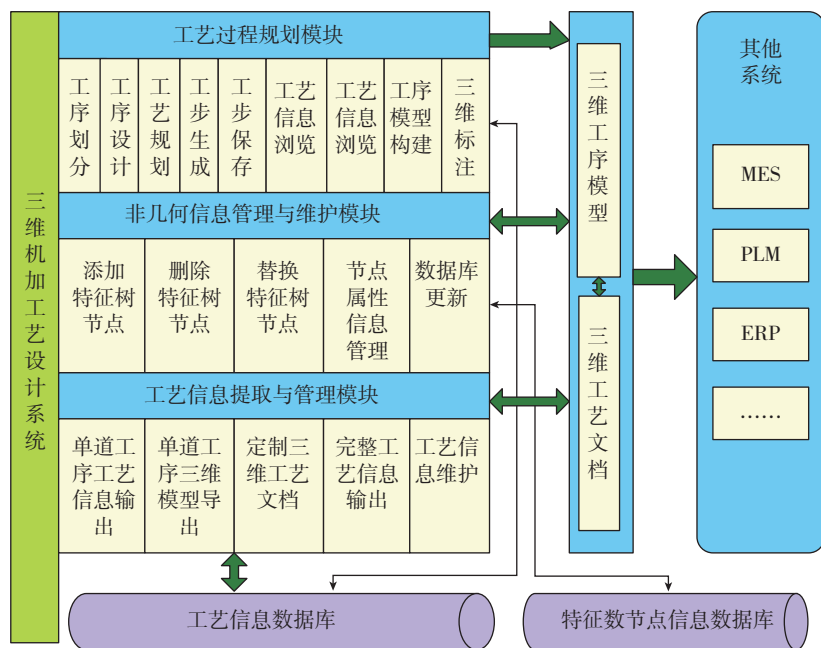


图2 系统功能架构

