

doi: 10.7690/bgzd.2013.06.011

基于三维模型的机加工工艺设计技术

斯铁冬¹, 张旭¹, 丁丁¹, 刘颖², 耿久全²

(1. 北京理工大学机械与车辆学院, 北京 100081; 2. 航天科工集团北京新风机械厂机加工工艺组, 北京 100854)

摘要: 为了满足基于模型的定义(model based definition, MBD)的发展需求, 提出一种在三维环境下机加工工艺设计的方法。通过导入零件设计模型, 构建了工艺信息模型, 进行工艺路线规划, 生成工序模型, 最终输出工艺文件, 实现了基于三维模型的工艺设计, 并提出了3种工艺信息输出的方法。实例分析结果证明: 该方法有利于实现CAPP和CAD系统间的信息交流, 具有可行性和有效性。

关键词: 加工特征; 三维工艺; 工艺信息模型; 工序模型; 计算机辅助工艺设计

中图分类号: TP302 **文献标志码:** A

Technology of 3D Model-Based Machining Process Planning

Si Tiedong¹, Zhang Xu¹, Ding Ding¹, Liu Ying², Geng Jiuquan²

(1. School of Mechanical & Vehicle, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Department of Machining Process, CASIC Beijing Xinfeng Machinery Factory, Beijing 100854, China)

Abstract: To meet the development requirement of model based definition (MBD), a process design method under 3D environment was proposed. Through imputing part design model, constructing process information model, then plan process route, generate process model and finally output process files, achieve 3D model-based process planning, proposed three ways of process files' output. The example analysis result shows that this method helps to achieve the information exchange between CAD and CAPP, and the method is feasible and effective.

Key words: machining feature; 3D process planning; process information model; process model; CAPP

0 引言

基于模型的定义(model based definition, MBD)要求三维实体模型作为生产制造过程中的唯一依据, 改变了传统以工程图纸为主, 而以三维实体模型为辅的制造方法^[1]。计算机辅助设计(computer aided design, CAD)和计算机辅助制造(computer aided manufacturing, CAM)技术已经大量应用在国内航空、航天、车辆、电子、船舶等行业, 计算机辅助工艺过程设计(computer aided process planning, CAPP)也已经替代了传统的手工工艺卡片的填写。国内使用的CAPP系统主要为卡片式系统, 没有三维模型的处理能力(包括三维模型信息的获取、模型显示、模型编辑等功能)。一般使用二维图形软件进行单独工序图的绘制, 影响了设计与制造间实现三维模型基础上的集成^[2]。

商用CAD/CAM软件提供的功能主要以三维模型的数控编程为主, 随着PTC公司提出的直接建模^[3]和UGS公司提出的同步建模技术^[4], 采用CAD软件进行模型的手工编辑处理, 在数字化制造软件中进行工艺路线的规划和资源管理的设计模式, 将三维模型与制造工艺相关联^[5]。

三维工艺设计的核心是给工艺规划人员提供

三维的设计、分析与验证环境, 在工艺规划过程中对加工方法、工艺路线、夹紧定位方案、可制造性、加工质量等进行综合的分析与验证^[6]。三维工艺可实现设计与制造在模型上的统一和集成, 提供更多的三维的工艺设计手段和工具, 实现与数控编程、基于计算机辅助工程(computer aided engineering, CAE)的工艺仿真等的集成。随着越来越多的制造企业采用三维CAD进行产品设计, 基于三维产品模型进行工艺规划已经成为企业的迫切需求。

目前国内外在三维CAPP技术研究主要集中在特征识别、工艺资源管理等方向, 还主要是针对围绕三维模型进行工艺信息的表达、组织和展示, 而对于建立以三维模型为核心的工艺设计的方法、模式等缺乏相关的研究。

笔者重点对机械加工零件的三维工艺设计方法进行了研究, 提出了包括模型转换、特征识别、中间模型处理、基于特征的工艺设计与工艺路线规划等在内的完整的工艺设计模式, 并以开发的原型系统进行了验证。

1 三维机加工工艺设计方法

三维工艺设计所依据的最主要信息来源于零

收稿日期: 2012-12-25; 修回日期: 2013-01-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51075036)

作者简介: 斯铁冬(1988—), 男, 浙江人, 工学硕士, 从事数字化设计制造、三维工艺设计研究。

件三维模型, 从中提取加工特征, 进行工艺规划, 生成工序模型, 完成毛坯到成品的转变。

将基于三维零件模型的工艺设计过程分为3个阶段: 1) 工艺信息模型的建立: 从零件和毛坯模型中提取加工特征建立特征信息模型, 一般情况下, 一个加工特征需要经历不同的加工阶段, 通过多道工序下的多个工步来加工完成, 因此在特征信息模型基础上给每一个加工特征添加特征工艺链, 从而完成工艺信息模型的建立。2) 工艺路线规划过程, 将所有特征工步按照加工阶段的不同划分成多道工序并进行排序。3) 工序模型的生成, 通过工艺信息模型和工艺路线来驱动生成各个中间工序模型。三维机加工工艺设计流程如图1所示。

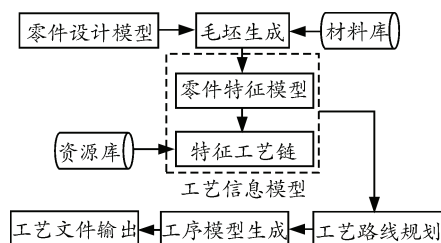


图1 三维机加工工艺设计流程

由图1可知, 三维机加工工艺设计中的核心是建立零件的工艺信息模型。而工艺信息模型建立的关键是零件特征模型的恰当构建, 即加工特征的识别和提取。以加工特征作为工艺规划的对象单位, 加工特征是零件模型中需要通过刀具连续加工而形成的几何区域, 并以此为载体附加工艺信息^[7]。添加特征工艺链过程中需要用到机床、工装等资源数据库。特征工艺链是以加工特征为核心的, 有关特征加工所需的信息实体, 包含了加工形成该特征所需的所有工步的信息。工艺路线规划主要包括工步聚类生成工序、工序/工步排序。工序模型生成指根据工艺信息来驱动零件模型按照工艺路线逆序一步步变成毛坯模型, 中间各个模型就是对应工序完成后的零件形状, 所谓工序模型。最后要进行工艺文件的发布与输出。

2 工艺信息模型的构建

2.1 工艺信息模型

零件信息模型可以分为几何层、零件层、特征层和工艺层4个层次, 如图2所示。其中, 整个模型建立在几何层的B-rep模型上; 在零件层中, 需要对零件设计基本信息, 包括零件名称、零件编号、材料、批量等; 在特征层中, 以零件设计模型为基础, 通过手动或自动特征识别的方式, 构建零件特征模型; 在工艺层中, 以零件特征模型为依据, 根

据一定的规则为每个特征添加特征工艺链, 为进一步的工艺决策奠定坚实的基础。

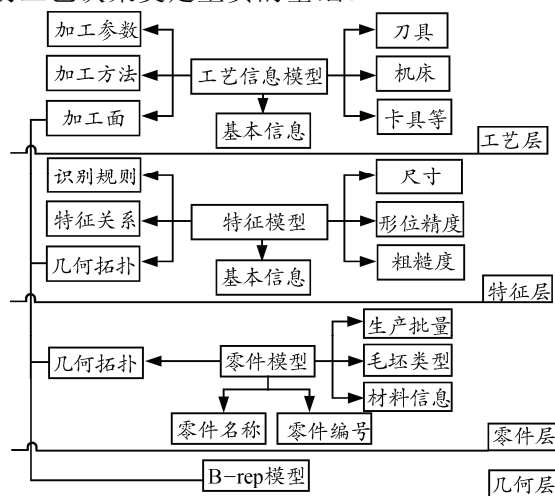


图2 不同层次的零件信息模型

最高层的零件信息模型就是工艺信息模型。工艺信息模型是工艺决策的基础, 工艺决策所依据的信息来源于工艺信息模型, 工艺信息模型包括零件特征模型和特征工艺链。如图3, 工艺信息模型由特征模型及特征工艺链组成, 特征模型是基于在零件设计模型构建的, 特征工艺链与特征一一对应。

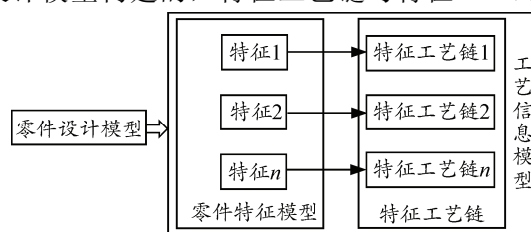


图3 工艺信息模型的组成

2.2 特征模型的构建

加工特征, 就是指在机械加工过程中可以按照特定方法和顺序加工成型的那部分几何拓扑形状。加工特征不仅仅是加工面的集合和面之间的邻接的几何拓扑关系, 同时也是制造信息、工艺信息等多种信息为一体的信息载体^[8]。只有建立完整的特征数据结构, 才能实现具有实际加工意义和进行工艺设计应用的加工特征的识别。

从零件和毛坯三维模型中提取加工特征构建特征模型, 提取加工特征通过自动和交互特征识别的方法来实现, 具体的特征识别方法不再详述。

2.3 特征工艺链的添加

通过分析大量的工艺过程可以发现, 不管零件多么复杂, 其加工工艺可以分解成主工序和辅助工序2类。主工序一般是针对零件上各主要形状特征的, 如轴类零件的圆柱表面、圆锥面与内圆柱面等;

辅助工序包括辅助表面的机加工工序、热处理工序和钳工工序等，如倒角、钻孔、攻丝等。由此可见，零件的加工工艺与其特征之间有密切的联系。

每个特征都对应着一组加工段，称之为特征工艺链。不同的加工环境下对应着不同的加工方法，当制造环境一经约束，具体的加工方法就被确定。因此特征与特征工艺链两者是一一对应的关系，一个特征工艺链由若干个加工工步按一定顺序组成。

给每个特征添加工艺链的过程其实就是一个工艺设计的过程，不同之处在于这是一种基于特征的工艺设计。如图 4 所示，给每一个加工特征分配属于它的特征类型，不同的特征类型又对应不同的加工方法。图 4 中的特征类型 1 对应了加工方法 1.1 到加工方法 1.k₁，假如，加工特征 1 是一个孔类型的特征，需要经过钻孔、扩孔和铰孔三道工步顺序加工完成，这时，钻孔就是加工方法 1.1，扩孔是加工方法 1.2，铰孔是加工方法 1.3，钻孔-扩孔-铰孔就是这个加工特征 1 的特征工艺链。每一个加工方法又对应机床、夹具、切削用量等工艺信息。每一个加工方法及其工艺信息的集合就是一个工步。

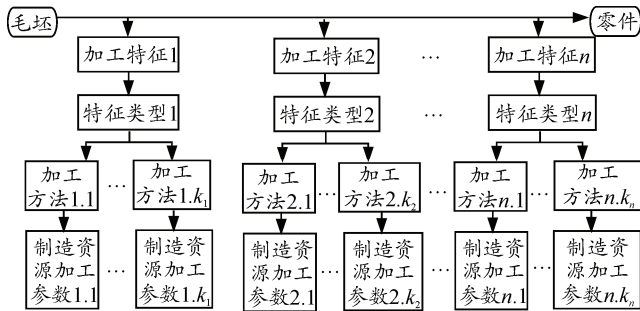


图 4 加工特征与加工方法及资源的映射

工艺信息模型是三维机加工工艺设计的核心，它不仅承载了来自于零件设计模型的信息，而且还有添加的特征信息及工艺信息。建立工艺信息模型，可顺利地生成中间工序模型，完成三维工艺设计。

3 工序模型的生成

3.1 工序模型的定义

工序模型，是指零件从毛坯状态开始到加工完成形成最终成型状态的整个过程中，每一步工序后所形成的制造实体。零件的中间工序实体一般有多个，与每步工序一一对应，如图 5 所示。

按照工艺路线生成工序的中间实体模型对工序图、数控编程、加工变形分析、夹具设计等都具有重要作用；并且可以直观地反映零件的加工过程，无需再进行二维图纸的分析和三维模型构建。所以，在基于三维模型的工艺设计中，零件中间工

序模型的生成是至关重要的内容。

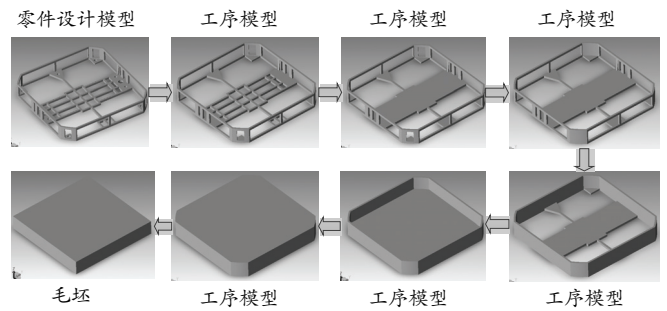


图 5 中间工序模型

3.2 工序模型生成方法

工序模型的生成方法可分为正向生成法和逆向生成法。正向生成法指由毛坯状态向最终设计状态逐步生成工序模型的方式，通过“减材料”的方法生成三维机加工序模型。逆向生成法指由产品最终设计结构向毛坯形态逐步生成工序模型的方式，通过“增材料”的方法生成三维机加工序模型，该方法能保证工艺设计与零件结构设计的一致性。

笔者提出的三维机加工工艺设计方法中采用了工序模型逆向生成法。工序模型是在零件模型的基础上由工艺信息驱动的，按照工艺路线逆序来一步步生成的，反映特定工序完成后零件实体状态的三维模型。通过对工序模型的虚拟直观浏览，工艺人员可以及时发现现时工艺规划中存在的问题，通过改变特征工艺链甚至重构特征模型来修改工艺规程，如此反复，直到工艺合理为止。

笔者采用的工序模型逆向生成方法如图 6 所示，这是一种通过抑制或删除加工特征 (MF) 来生成工序模型的方法。加工特征 (MF) 是前后两道三维工序模型之间通过加工所改变的几何部分。从设计模型到毛坯，每一道工序加工过后，反映在零件实体上的变化就是对应的一个加工特征被抑制或删除了，从而生成了对应的工序模型。

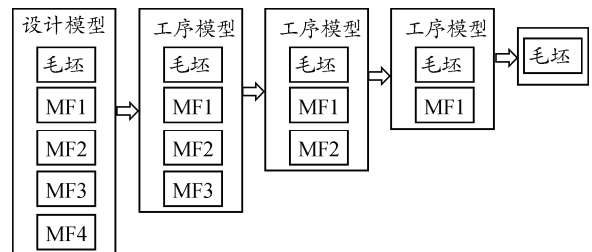


图 6 工序模型逆向生成

3.3 工序模型的标注

在生成中间工序模型后，要对中间工序模型进行标注，相当于传统的二维工序简图的绘制。在零件中间工序模型上，进行尺寸、公差、技术要求、

表面粗糙度等的标注,示例如图7所示。

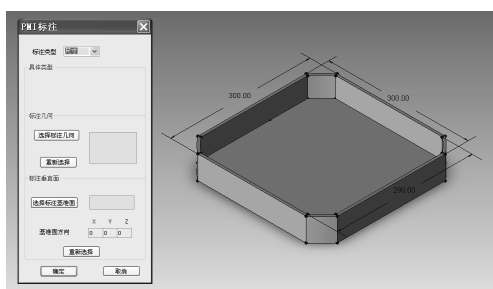


图7 工序模型标注示例

4 三维工艺信息的发布与输出

按照相关的规范和标准,生成工艺规程文件,输出的文件包括工艺卡片、工序三维模型及标注(包括了完整的三维模型、工序中间三维模型、工艺路线及工艺参数、设备资源信息)、轻量化模型(按照工艺路线生成的一组轻量化三维工序模型),工艺文件应当可以发布到车间,能够通过车间的终端机实现对工艺卡片信息和三维设计模型、工序中间实体模型等的浏览。

笔者提出了3种工艺信息发布的方式:

1) 与传统的工艺卡片类似的发布方式,输出为工艺文件。与传统工艺卡片不同的是,可以在工艺文件中嵌入三维的工序模型,并提供对模型的浏览和操作能力。2) 基于MBD思想的三维工艺模型的发布。直接发布三维工艺信息模型,包括了加工特征信息、特征工艺链、工艺路线、工艺详细信息等,直接作为一个完整的模型发布到PDM等系统中,并进行传递。3) 面向工艺现场的发布。提供综合的工艺信息浏览工具,工人可以直接通过网络,在车间的终端机上实现对工艺信息和工序模型的浏览。

5 应用实例

基于上述方法,笔者利用Visual Studio、ACIS建模内核以及HOOPS渲染引擎开发了一个三维机加工工艺设计原型系统,并在某厂新型号的某支架骨架零件上进行了验证。

通过ACIS的INTEROP组件,将PROE生成的三维模型转换成SAT格式,并在系统中打开,如图8所示。设置零件基本信息后,通过交互特征提取或者自动特征识别将零件所有加工特征提取出来,并以每一个加工特征为节点构建特征树。然后为每一个加工特征添加特征工艺链,每一个特征工艺链包含不同加工阶段的多个工步,特征工步包含的信息如图8右下角对话框所示,特征工艺链添加在对应特征节点下面,如图8左侧第一个树控件所

示。接着进行工艺路线的规划,即将所有特征工步进行排序并划分成多道工序,如图8左侧第二个树控件所示。继而根据工艺路线和工步参数来驱动中间工序模型的生成,并对工序模型进行标注。最后进行工艺规程的输出。

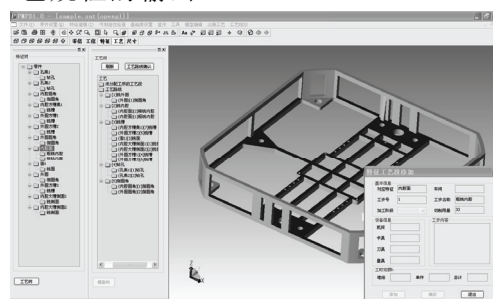


图8 应用实例

6 结束语

三维机加工工艺设计是基于三维CAD技术的CAPP研究的重要内容,也是实现CAD/CAPP/CAM集成的关键技术之一。笔者通过建立零件特征和工艺信息模型,规划工艺路线,最终实现基于三维模型的工艺设计,从而达到提升机加工工艺设计表达的直观性和准确性的目的。实例结果证明,该方法打通了设计模型和工艺模型之间的联系,有利于实现CAPP和CAD系统间的信息交流。

随着研究的深入,将在CAD模型转换和PMI信息获取技术保证模型几何、拓扑数据的质量和精度,获得完整的PMI定义信息;复杂结构加工特征的识别及中间模型的生成;三维工艺设计环境下的夹紧定位、加工质量分析与验证等进行探讨。

参考文献:

- [1] 周秋忠, 范玉青. MBD技术在飞机制造中的应用[J]. 航空维修与工程, 2008(3): 55-57.
- [2] 肖伟跃. CAPP的反思与展望[J]. 成组技术与生产现代化, 2007, 24(4): 1-5.
- [3] 丁海鹰. 融合中的直接建模和参数化建模[J]. CAD/CAM与制造业信息化, 2012(3): 19-20.
- [4] Siemens PLM Software. 应用同步建模技术的NX6[J]. 航空制造技术, 2008(16):104-105.
- [5] 万能, 赵杰, 莫蓉. 三维机加工工序模型辅助生成技术[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(10): 2112-2118.
- [6] 万能, 常智勇, 莫蓉. 机加工工艺设计的三维新模式研究[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(9):1873-1879.
- [7] Abouel N, Emad S, Ali K. A new methodology for extracting manufacturing features from CAD system[J]. Computers and Industrial Engineering, 2006, 51(3): 389-415.
- [8] Perng D, Chen Z, Li R. Automatic 3D machining feature extraction from 3D CSG solid input[J]. Computer aided Design, 1990, 22(5): 285-295.