

面向自动数控编程的零件加工特征建模技术

张英杰

(西安交通大学机械工程学院, 710049, 西安)

摘要: 从提高数控编程效率的实际出发,在改进传统的加工特征模型的基础上,提出了一种新的加工特征模型.该模型除具备一般加工特征模型的基本特性外,还包含工艺决策知识、数控程序模板等其他相关应用信息.通过该模型的使用,在设计数控工艺时就能依据特征的复杂程度,以模块化的方式分别采用检索式、变异式和智能创成型等设计方法辅助进行数控程序的生成,从而实现了数控程序的模块化设计,提高了数控工艺设计的柔性和自适应能力,为数控工艺的标准化、模块化和参数化奠定了基础.该方法在一个模型系统中得到了验证.

关键词: 加工特征;数控编程;工艺设计;模块化设计

中图分类号: TH166 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)03-0281-04

Modeling Technique of Machining Feature for Automatic Numeric Control Part Programming

ZHANG Yingjie

(School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Aiming at reducing period of numeric control part programming, a new machining feature model is proposed to remedy the drawbacks in the traditional feature models, which contains the common properties of general machining features as well as the associate information, such as manufacturing knowledge, the modular numeric control programs. Following the implementation of the modular numeric control programs, numeric control part programming is expected to flexibly perform. According to the complexity of parts, the search, variant and generative approaches can be selected and applied to the generation of numeric control programs with robustness and flexibility. The proposed scheme has been practically demonstrated by a prototype system.

Keywords: machining feature; numeric control programming; process planning; modular design

在离散制造业中,工艺设计是连接产品开发设计和制造的桥梁,对于完全采用数控加工的零件来说,编制出正确的数控程序是数控工艺设计要达到的最终目标.一般来说,数控程序(或称数控指令)通常是按照数控系统开发商针对具体的数控机床提供的操作指令集编写的,具有很强的设备相关性,这些操作指令主要用来控制机床、工具(如刀具、夹具和工作台等)及其他外围设备的运动.要使数控程序能在不同数控设备之间进行转换是非常困难、几乎是不可能的,而且与传统的纸质工艺文档不同,数控程

序不包含任何产品属性信息,这不仅妨碍了数控工艺系统与其他信息化系统的集成,在生产调度过程中也难以在不同类型的设备之间进行调整.同时,这种依赖于具体设备所开发的数控程序自身也缺乏继承性和可重用性.

为了解决这些问题,本文以提高数控程序的开发效率为目标,在充分考虑到数控程序在实际应用中的个性化特点,提出了基于加工特征的模块化数控工艺设计思想.将数控程序分解成以加工特征为单元的方式进行组织,并采用参数化的方式对其进

行管理和使用。

在 CAD 系统中,特征通常被用来作为一个基本构造单元,并通过布尔运算来描述完整的零件。特征可以作为基本模块来构造完整的机械零件,定义和记录组成零件的各个边界曲面及加工特征信息,如腔槽、沟槽、凸台、凹槽等的形状和大小,孔的类型、位置以及一些辅助特征的信息^[1-4]。特征的主要优点是易于参数化,采用参数驱动的方式能对具有不同规格的系列化产品中的相似零件进行统一描述。特征不仅可以用来描述三维物体的几何形状,而且记录了其他应用方面的相关信息。例如,在数控机床上的特征加工信息,借助于特征描述还可使复杂的零件工艺设计问题转化成一系列单个简单特征的工艺决策问题。同时,当特征模型中包含加工工艺决策规则时,就能够实现智能工艺决策和自动数控程序的设计。

1 特征的基本定义

特征是按照设计、分析、干涉检查、装配和制造误差等诸多方面进行定义和分类的。在工程领域,特征模型往往是按照应用需求进行定义和分类的,如成型特征、铸造特征、锻造特征、焊接特征、钣金特征、铸塑模特征和加工特征等。从机械加工的角度考虑,加工特征通常被定义为一个封闭的三维空间体,当加工操作被执行完毕后,该加工特征内部的材料应当被切除干净。从 CAD 建模的角度来说,对切削过程的建模可以利用集合运算的机理对工件实施布尔差运算来定义,其过程可以通过一个标准的二叉树来描述,常用的通用加工特征主要包括型面、腔槽、沟槽、倒角和孔等^[5-6]。

对于数控加工,工艺设计的最终目标就是生成数控代码,要一个待加工零件进行数控程序设计,则首先要对该零件所包含的所有加工特征和相应的加工操作进行严密和准确的定义,并且还要对各加工特征的操作顺序进行合理地布局 and 规划。传统的通用加工特征,由于其几何形状简单、操作工序少且基本上已标准化,因此完全可以按照所选定的机床及可用刀具的尺寸范围,采用参数化驱动按照检索式的工作方式来实现数控程序设计。但是,从一般的应用情况来看,事实上设计人员大量的时间主要花费在复杂特征的工艺决策和数控程序设计上,并且注意到对于一个具体的企业,由于其所生产产品种类的限制,因此所加工的零件在很大程度上存在着相似性。要提高数控程序的设计效率,就必须对这些

具有个性化特点的复杂加工特征进行研究,以派生式为主、创成式为辅的技术策略,研究复杂特征的建模和工艺设计策略,以实现数控程序的自动生成。

2 加工特征分类和模型定义

2.1 加工特征的分类

从满足计算机辅助工艺规划(CAPP)的基本要求出发,提出一种新的特征分类方式,其目的是便于工艺设计人员在制定工艺时,能够按照零件所包含的加工特征的数量和种类挑选合适的加工设备和工具。在特征分类中,首先按照加工该特征所需要的机床的自由度数(轴数)进行分类,然后依据当前可利用的机床刀库中的刀具类型和规格,将该加工特征按照一对多的方式与物理设备建立映射关系。因此,当采用派生式模式进行工艺设计时,设计人员既可以按照加工特征的自由度数挑选可用设备,也可以通过选中的加工设备,查找可加工的工艺特征,生成计算机数控(CNC)程序(见图1)。

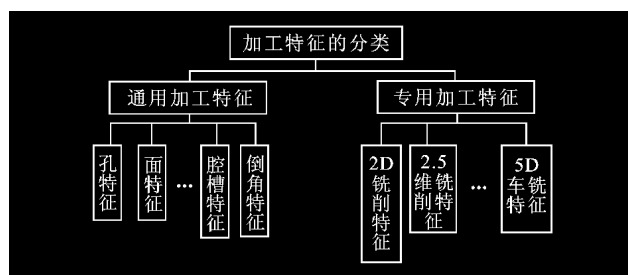


图1 加工特征的分类方式

2.2 加工特征模型的定义和功能

为了提高数控编程效率,在数控程序设计中,以预先定义参数驱动的加工特征为最小单元,应用集合理论和人工智能方法,采用半创成型的策略进行工艺设计过程的自动决策。要实现这一目标,需要对加工特征进行重新建模和定义,为满足这一要求,加工特征除了应拥有几何、非几何信息等技术数据(公差和表面粗糙度之外),还应提供具有一定柔性的依赖于制造设备装置的相关信息和智能决策信息。

一般意义上的加工特征是指通过切削加工从毛坯上切除的材料部分,这部分材料可以通过参数或以边界表示形式来描述。根据集合理论,加工特征在数学上可以定义^[7]为

$$P = B_L - \{M_{F_1}, \dots, M_{F_i}, \dots, M_{F_n}\} \quad (1)$$

如果

$$M_{F_i} \cap M_{F_j} \cup B_{M_{F_i}} \cap B_{M_{F_j}} \neq \Phi$$

则

$$\forall i, j, i \neq j, \Rightarrow I_{RF, i, j} \neq \Phi \quad (2)$$

$$I_{i, j}, D_{i, j} \in I_{RF, i, j} \quad (3)$$

式中: P 表示加工后的最终零件; B_L 表示毛坯或半成品的工件; M_F 表示加工特征; B_{MF} 表示加工特征的边界; I_{RF} 表示特征间的相互关系; I 为干涉; D 为变形几何数据

$$G_{D_i}, T_{D_i} \in M_{F_i} \quad (4)$$

$$T_i, S_i \in T_{D_i} \quad (5)$$

$$M_{m_i} \in M_{F_i} \quad (6)$$

其中 G_{D_i} 、 T_{D_i} 、 T_i 、 S_i 和 M_{m_i} 分别表示特征 i 的几何数据、技术数据、公差信息、表面粗糙度和加工方法。

在本文讨论的加工特征中,除了具有一般意义上的基本特征之外,还包括一些面向具体应用定制的复杂特征,这些特征也可能是由多个简单特征的组合而成的,但对于该加工特征的信息组成来说,它除了具有传统的加工特征的基础数据和工艺信息外,还包括工艺决策信息和数控指令的自动生成规则。这些信息的主要功能包括以下几个方面。

(1)用于确定加工方式、加工设备、加工辅具(刀具、夹具和量具)和定位方式等决策信息,例如:当在车铣加工中心上加工一个具体的孔型特征,并且采用车削、铣削和钻削都可以完成该任务时,如何进行决策的问题等。通常这些知识大部分来源于加工经验,是在长期加工过程中收集、整理和归纳出来的。为了实现这部分的知识获取,在作者的前期研究中,建立了一个基于网络化的智能设备管理系统^[7],该系统能够根据机床的加工历史纪录、机床特点和功能,从中归纳和整理与工艺决策有关的决策知识。其中,建立一个小型的专家系统,用来对归纳整理到知识库的相关知识进行冲突检查和正确性验证。

(2)变异式参数化工艺设计策略的数控工艺模板的生成。考虑到对于一个具体的企业,由于产品的系列化及标准化特点,长期以来所加工的零件也就存在很大的相似性。对一个具体的加工设备(数控机床),所能加工零件的形状、类型通常限制在一个较窄的范围内,如果对这些经常遇到的加工特征采用参数驱动的方式进行定义,不仅可以使复杂的工艺决策问题得到简化,而且可以提高决策的有效性和效率^[8-9]。为此,本文在定义加工特征时,针对可选用的机床,结合其加工历史,按照变异型参数驱动的工艺设计要求,对典型的数控工艺和数控代码进行分析和归纳,形成了数控工艺模板。

(3)智能决策的数控工艺设计机制。尽管采用变

异式参数化驱动数控工艺设计机制,可以实现和完成大部分现有加工特征的数控代码生成,但对于新特征或者多个特征在同一台加工设备上加工时,以单一特征为基本单元的设计方式就很难取得全局最优的加工方案。其主要原因是,当对同一工件上拥有的多个加工特征进行工艺决策时,所用的刀具、量具和工件安装等方面可能存在共享的问题,采用单一特征依次加工的决策策略,可能会带来不必要的重复换刀和安装等问题,从而引起不必要的时间浪费和加工精度的损失^[10]。因此,智能决策模块主要解决两方面的问题:①通过建立知识库,采用产生式规则对工艺决策知识进行描述,以逻辑推理方式实现对全新特征的智能决策;②按照特征加工所用工具的数量和规格进行必要的调整和优化,寻找出所有可行的候选方案,为工艺系统的全局优化提供必要的信息储备(见图2)。

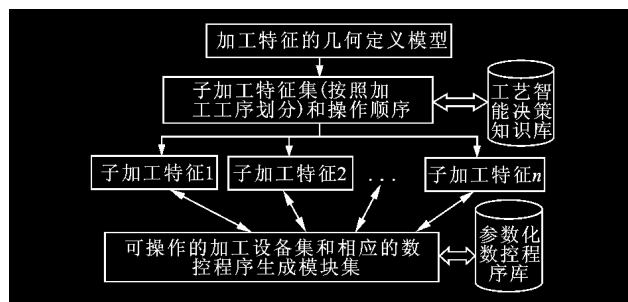


图2 加工特征的体系结构

如图3所示,加工特征的几何定义模型,主要用于定义该特征的形状和与加工密切相关的特征信息,它包括特征的几何参数(长度、宽度和深度)、坐标变换矩阵(实现从特征坐标系到全局坐标系的变换)、加工精度、加工技术要求和坐标系等信息。

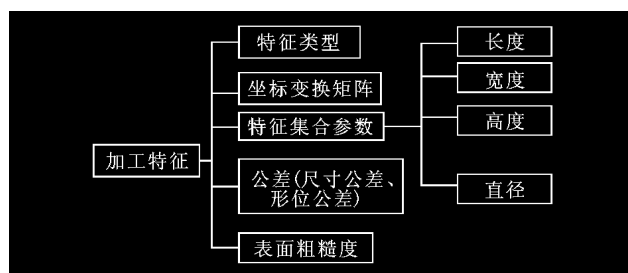


图3 加工特征的几何定义模型

利用加工特征的几何定义模型,通过工艺决策机制可以制定具体加工的工艺流程,包括采用智能方法以规则匹配的方法进行刀具选择、确定各工序的操作^[11]等。例如,在制定工艺流程时遇到一个需要通过铰孔才能达到精度要求的特征孔,则系统会

根据工艺规则将其分成2个子特征,即1个钻孔和1个铰孔特征,并且选择钻孔操作的加工余量会按照最终孔的尺寸和精度来确定.尤其对于那些比较复杂的加工特征,最有效的特征工艺决策方案是采用派生式的方式.例如,对于相似零件,可按照用户事先定义的工艺方案,采用参数驱动的方式进行自动生成.图4为定制典型工艺流程的操作界面.



图4 工艺流程的定制界面

3 实例

为了验证提出的加工特征模型,本文在 Windows XP 环境下,采用 PowerBuilder 9.0 作为开发工具,SQL Server2000 为数据库服务器,以发动机零部件为研究对象建立了一个原型系统^[12].其中,数控程序的自动生成被集成在一个二维工艺设计系统中,加工特征都是按照选定机床进行检索和管理的,因此在进行数控工艺设计时,先根据零件模型或图纸确定所包含的特征,再对每个特征依次采用以下的方式进行数控程序设计.

首先,根据该特征的特点选择合适的加工设备,选定加工设备之后,系统便会列举出该加工设备已定义的所有加工特征.如图5所示,从中选择该特征或可以进行组合加工的子特征,并对没有的特征或子特征进行开创性的设计(往往需要采用传统的方式进行设计)和补充,以实现数控工艺的模块化设计.系统还提供了特征查询机制,用户可以用于查询加工的机床,当工艺设计完成后系统会将该数控程序存储到指定的位置.同时,用户还可以对其进行查看和修改,通过点击图5中的浏览按钮,实现数控工艺的显示或上传以离线方式编写的数控程序.如图6所示,若需要对某道工序进行在线数控编程,可以直接点击右边的“edit”按钮,系统便会弹出一个窗口,进而采用以加工特征为单元的数控程序设计.



图5 基于特征的工艺设计界面



图6 数控程序的上载工作界面

4 结论

本文从提高数控编程效率和增强数控工艺设计柔性的实际出发,对发动机零部件所涉及的加工特征进行了分类和建模.按照加工特征的类型、复杂程度等特点,分别研究了基于检索式、变异式和智能创成型的数控工艺生成策略.采用智能方法,对加工特征所使用的物理设备和相应的数控程序之间建立映射关系,从而实现了复杂加工特征的合理分解和数控程序的模块化设计.采用本文的策略,不仅增强了数控代码的模块化和可重用性,使复杂的数控程序设计得到简化,而且提高了工艺系统的柔性和自适应能力,因此为企业数控工艺设计的标准化、模块化和参数化奠定了基础.

参考文献:

- [1] FARUK C, CONSTANTIN C. An IT view on perspectives of computer aided process planning research [J]. Computers in Industry, 1997, 34 (3): 307-333.
- [2] KANG M, HAN J, MOON J G. An approach for interlinking design and process planning [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 139 (1/3): 589-595.

- [3] TIENCHIEN C, RICHART W. An introduction to automated process planning systems [M]. Englewood: Prentice-Hall Inc, 1985;118-325.
- [4] HONGCHAO Z, LEO A. Computerized manufacturing process planning systems [M]. New York: Chapman & Hall, 1994.
- [5] SHAH J, MARTTI J M. Parametric and feature-based CAD/CAM: concepts, techniques and applications [M]. New York: Wiley, 1995.
- [6] WAIYAGAN K. Intelligent feature based process planning for prisional part and five-axis lathe [D]. Pathumthani, Thailand: School of Engineering and Technology, Asian Institute of Technology, 2004.
- [7] 张英杰,曹岩. 基于网络化的制造资源智能系统的研究[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(3):270-273.
ZHANG Yingjie, CAO Yan. Intelligent manufacturing resource management over internet [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2004, 38(3): 270-273.
- [8] GIDEON H, ROLAND D W. Principles of process planning, a logical approach [M]. London: Chapman & Hall, 1995.
- [9] KURIC I, LEGUTKO S. Chosen aspects of modern CAPP systems [J]. Computational Methods in Science and Technology, 2001,7(2): 65-74.
- [10] ELIASM A. Building expert systems principles procedures and applications [M]. New York: West Publishing Company, 1995.
- [11] ZHANG Yingjie, LI Yunlong. New approach to selecting multiple tools for milling 2.5-D pockets [C]// Proceeding of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. Piscataway, USA: IEEE, 2007;5-8.
- [12] 曾高强,张英杰. 计算机辅助工艺设计中工艺数据描述及卡片生成的研究[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(11):1147-1150.
ZENG Gaoqiang ZHANG Yingjie. New method to process data description and card generation in computer-aided process planning system[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2004, 38(11): 1147-1151.

(编辑 管咏梅)