

基于特征的箱体类零件数控编程技术

张英杰, 许艾

(西安交通大学机械工程学院, 710049, 西安)

摘要: 针对箱体类零件的工艺特点,提出了一种基于加工特征的模块化数控工艺设计思路,采用基于工艺知识的决策机制实现了特征加工方法链的智能决策.同时,考虑到对每种加工方法所对应的数控代码基本固定这一特征,提出了以工步为基本元素的自动数控编程方法.从实际情况出发,通过对现有的加工方法进行组织和分类,采用参数化的方式对其进行数控代码设计和管理,从而实现了箱体类零件的分层次、模块化数控程序设计,提高了设计效率,为数控工艺设计的自动化、智能化提供了一个新途径.

关键词: 数控编程;加工特征;箱体类零件

中图分类号: TH166 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)05-0578-05

Efficient Feature-Based Approach to Numerical Control Programming for Prismatic Parts

ZHANG Yingjie, XU Ai

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

Abstract: According to the characteristics of prismatic parts, a feature-based approach is proposed and applied to reduce the design period of numerical control (NC) programming. The essential idea illustrates that NC programming of prismatic parts can be carried out in the variant method to improve the reusability and manageability of NC codes. Thus, a machining feature model with NC code generated in parameter driven way first should be defined based on the standard operations in specific part manufacturing processes, then a feature library should be created to store and manage the machining features. As a result, NC programming on a complex part can be performed in modular design by combining the codes of several machining features together in reason sequences, and these machining features are extracted from the complex part by using an expert system with manufacturing knowledge library. The prototype has been developed and applied in a heavy cart company in China.

Keywords: numerical control programming; machining feature; prismatic part

箱体类零件是机器及其部件的基础壳体,对于箱体类零件的加工,不仅包含多工位孔系加工,如铣、钻、扩、镗、铰、镗、攻丝等平面加工方法,而且对加工精度要求较高,特别是对形位公差要求非常严格.据有关统计资料^[1-4]显示,箱体类零件在整个机械行业中约占到60%左右,从提高加工效率方面考虑,箱体类零件的加工一般是在加工中心进行的,其

特点是加工精度高,具有刀库和自动换刀装置,在对工件一次装夹后,能完成多道工序(多种加工方法)的加工.从实际应用状况来看,由于数控工艺设计的自动化程度较低,数控程序设计周期往往很长,只有那些既具有一定加工经验且对具体数控机床的功能非常熟悉的专业技术人员才能胜任.另一方面,从数控代码中很难获得可以借鉴的加工相关信息,导致

每个零件的数控程序设计都是以最原始的方式进行的,无法继承以往的设计经验。同时,由于缺乏工艺优化方面的考虑,导致加工成本过高,使得价格昂贵的加工中心没有发挥出应有的作用。为了解决这些问题,考虑到数控工艺设计问题的个性化特征,该研究从实际情况出发,以提高数控编程效率为出发点,对箱体类零件的数控编程方法进行了深入的研究,通过引入加工特征和加工方法链(加工路线)实现了数控工艺设计过程的智能控制和信息传输。

1 特征定义和分类

1.1 箱体类零件的加工特点

加工特征是一种能够代表加工要求、加工意图和用于构建零部件形状的抽象几何体。换句话说,加工特征可以定义为形状特征与制造工艺信息的结合。加工特征除具备明显的几何意义之外,还隐含一些基本的切削加工方法,利用加工特征作为信息载体易于实现从设计到制造之间的信息传递。加工特征所包含的信息一般包括特征标识信息、几何形状信息和制造工艺信息^[5-6]。对于箱体类零件的加工,其中每个加工工序都可以看成是对组成该零件的某个特征的操作,整个零件的加工可以分解成对每个特征或特征组的加工。因此,采用基于特征的模块化设计思想是简化复杂的箱体类零件工艺设计过程的有效手段^[7]。

对于箱体类零件,尽管其几何形状和各特征的空间位置关系比较复杂且难以描述,但是从数控工艺设计的信息要求来看,它并不要求对零件几何信息进行完整、准确地描述,只要描述清楚该零件上需要加工的表面、各表面的空间位置关系及其依附于该加工面上的各个加工特征^[8]即可。因此,从工艺方面考虑,在进行箱体类零件的信息描述时,把箱体看成是由多个方位面组成的,主要记录各方位面上的加工特征,而忽略其他非加工特征,如加强筋、凸台等由铸造生成的特征。这样,不仅减少了对该零件描述的信息量,也降低了描述的难度。

1.2 箱体类零件特征的分类

通过对陕西重型汽车有限责任公司模具分厂的现有30种箱体类零件的全面分析,将所有的加工特征归纳成3类:面特征、孔特征和槽特征。每一类加工特征又可根据其特点进一步细分,如孔特征可进一步分为通孔、盲孔、台阶孔和螺纹孔等。为了便于特征检索,对每一种加工特征赋予一个特征代码,利用特征代码就可以对其进行准确地检索和管理。在

本文系统中,特征的大类主要包括:①面特征为矩形面和圆环面;②孔特征包括通孔、盲孔、螺纹通孔、螺纹盲孔、台阶通孔、台阶盲孔、台阶螺纹通孔、台阶螺纹盲孔、双联孔和圆周均布孔系等;③槽特征包括直槽、圆槽和环槽等。

箱体类零件的信息通常由两部分组成,即总体信息和加工特征信息。总体信息主要包括表头信息、方位面信息等。加工特征信息则是描述零件具体加工的相关信息,它是根据各个不同的方位面来分别描述的工艺信息,如图1所示。

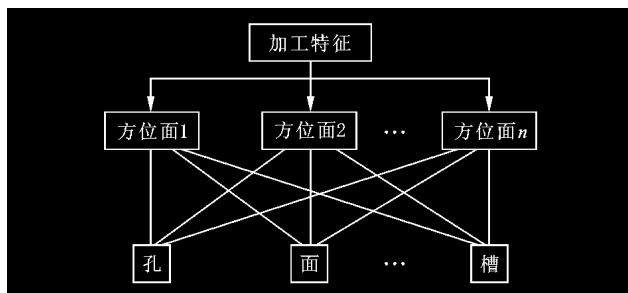
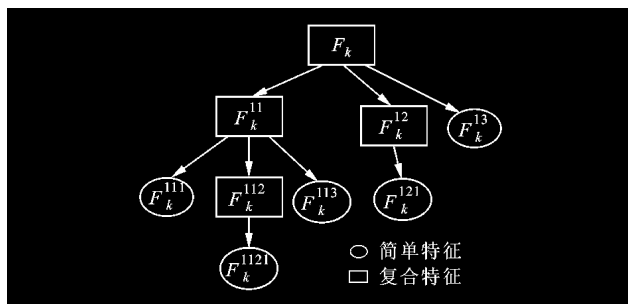


图1 箱体类零件的加工特征构成

1.3 加工特征的模块化设计原理

在模块化的加工特征模型中,特征间存在着相互关系,这些关系可以是父子关系、几何或位置公差关系或是基准关系,但从工艺的角度来讲,加工特征间的各种关系可归类为相互独立或相互关联的关系,如图2所示。



$F_k(k=1,2,\dots,n)$:零件上的第 k 个加工特征

图2 加工特征模型

在图2中,加工特征的父子关系表示了一个加工特征对另一个加工特征的依附关系,而同一层上的特征为平行关系。同时,它还反映了特征的加工次序,也就是说只有位于节点上的父特征被加工完之后,其子特征才能被加工。同时,一个复合特征可以对应有多种分解方式和加工路线,这种表示方法可能不惟一。在本文中,这种表示方法主要用来描述复合特征的组成。在加工特征模型中,每个节点表示一个加工特征,它是几何形状特征与工艺属性特征的

组合体,在数学上可以描述为

$$F_k = F_k^G \cup F_k^P \quad (1)$$

式中: F_k^G 表示几何形状特征; F_k^P 表示工艺属性特征,它包括材料信息、精度信息和制造技术信息等.从加工特征的组成和数控程序的设计角度来看,每个加工特征 F_k 都属于加工特征库中的一个成员,在该加工特征库中,预定义了所有的常用加工特征.

1.4 模块化加工特征的数据结构

模块化加工特征除了包含几何形状信息之外,还包括其他与特征加工和数控编程相关的信息,如材料信息和精度信息.同时,考虑到要简化数控工艺设计,就需要一个特征库的支持,该特征库除了存储单一特征的个体信息之外,还记录了各个特征间的相互依赖关系,以便于进行特征检索和存取.下面,以直槽特征为例说明特征的数据结构:

//直槽特征

struct MFThrough.Slot {

float COORD_X; //直槽左起点 X 坐标

float COORD_Y; //直槽左起点 Y 坐标

float COORD_Xe; //直槽右起点 X 坐标

float COORD_Ye; //直槽右起点 Y 坐标

float COORD_Z; //槽端面 Z 坐标

float WIDTH; //槽宽度

float ANGLE; //槽所在方位面的角度

float TOOLDIA; //铣削槽所用刀具直径

float DEPTH; //槽的深度

ModularSchemeList * MachiningMethods;

//典型加工方法库

RelFeatures * RelFeatureList; //相关联特征

};

2 数控工艺知识库

在知识库模块中,与加工相关的知识主要分为5大类:加工方法链规则、粗加工规则、半精加工规则、精加工规则、排序规则.当前知识库共拥有3500多条规则,并且是以产生式规则形式来表示的.一般来说,如果加工设备固定,在满足工件的加工精度、表面粗糙度、尺寸和材质等条件的前提下,加工方法链也是基本确定的.工艺决策系统主要根据零件所包含的各个加工特征的相关参数来确定推理规则,而推理的结果就是加工方法链^[9].最后,将所有加工方法链进行组合和优化,生成该零件的基本加工方法链.以孔加工为例,其加工规则知识描述如下:

IF(孔径>Φ45)AND(公差等级 IT8)THEN

[粗镗孔]→[半精镗孔]→[精镗孔];

END IF

IF(孔类型==双联孔)AND(跨距<400)
AND(长径比<6)THEN

从一端镗孔:[粗镗]→[半精镗]→[精镗];

ELSE

从两端头镗孔:[粗镗]→[半精镗]→[精镗];

END IF

IF(孔类型==螺纹孔)AND(孔径>30)
THEN

[钻孔]→[铣螺纹];

ELSE

[钻孔]→[攻螺纹];

END IF

IF(面加工)AND(平面度≤0.1)THEN

[粗铣]→[半精铣]→[精铣]

END IF

3 参数化的加工特征代码库

在本文的实现方案中,复杂特征的数控编程是通过将其分解成一系列简单特征进行自动生成的.对于数控编程,一个简单特征也可能对应着几个加工工步,在该系统中,特征的数控程序生成是以“工步”作为基本构造单元进行的,因为每个工步都对应着一段固定的数控(NC)程序段.为了便于对其进行参数化设计和管理,每个加工特征的数控代码是通过参数化方式映射为工步进行生成和管理的.也就是说,当对一个加工特征进行数控编程时,往往是先将其分解成一系列工步进行的.

在实际生产中,由于工步内容的不同所对应的加工方法也不尽相同,例如:对于孔加工,常用的加工方法有钻、镗、铰等,其每一种加工方法所对应的数控程序段也不完全相同.本文通过对陕汽集团的产品零部件进行分析和总结,从中归纳出覆盖160个箱体类零件的基本加工方法程序段,基本上满足了该企业箱体类零件的数控工艺设计需要.

对于工步的数控程序设计,无论采用何种加工方法,其NC代码的设计过程基本相同,主要步骤有:①确定工件坐标系;②确定主轴旋转和切削参数;③将刀具快速移动到指定位置;④走刀进行加工;⑤快速回退.为了实现参数化,在编写特定工步的数控代码时,根据不同的加工方法,编写相应的加工程序.在程序段中,将一些接口参数用变量表示,

系统在调用时,只需将这些变量替换为具体数值,就可以生成加工具体特征的 NC 指令。

如图 3 所示,某一工步需要镗孔,设入口端的坐标为 (x, y, z) ,主轴转速为 s ,进给速度为 f ,坐标系代码为 W , $Nxxxx$ 为程序段行号(x 代表一位数字),则程序代码为:

$Nxxxx G00 G"W" G90 X"x" Y"y"$

$Nxxxx S"s" M03 M08$

$Nxxxx G0 Z "z+2"$

$Nxxxx G01 Z "z-L-1" F"f"$

$Nxxxx G0 Z "z+100"$

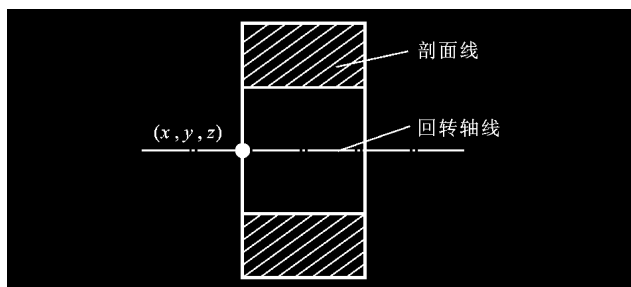


图3 参数化工步特征

将加工所有简单特征的固定程序段采用参数化的方式编制出来,存入数据库就构成 NC 代码库,其文件的存储格式为加工方法标识和固定程序段。

4 系统的体系结构

如图 4 所示,在解决箱体类零件所包含的加工特性问题时,考虑到目前特征识别问题仍然是世界级的难题,还没有得到很好地解决,但是对一个应用企业来说,其产品相对固定,其常用的加工特征的数量和种类是很有限的。因此,在该系统中没有研究特征识别问题,而是通过交互式或类比方式从三维模型或二维图纸中交互式提取的。

系统的整个工作过程可以描述如下:对需要进行工艺设计的箱体类零件,首先根据该零件的特点,采用类比和编码搜索的方式确定出该零件所包含的所有加工特征;接着,对每个加工特征按照其输入的几何参数和技术参数,采用智能推理方式生成相应的加工方法链;然后,对该方法链的每个节点,按照参数驱动方式搜索 NC 代码库生成实例化的 NC 代码;最后,以方位面、刀具数量和加工时间等项进行优化组合,确定各个特征的操作顺序,生成最终的 NC 代码。

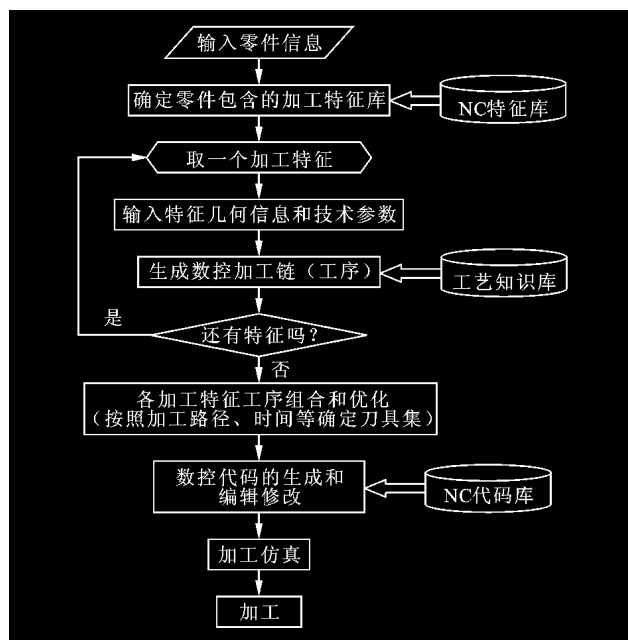


图4 系统的总体框架

5 实例

软件系统是在国家高技术研究发展计划项目的资助下,针对我国目前企业数控工艺设计普遍缺乏标准化、规范化和效率低等问题进行研究和开发的。系统原型已在陕西汽车集团有限责任公司德仕集团得到了推广,解决了二维工艺设计和数控工艺的统一平台以及 NC 代码自动生成^[10]等问题。箱体类零件的数控工艺设计仅仅是整个集成工艺系统的一部分,最终生成的数控程序是作为工艺卡片的附加文件进行管理和存储的,下面以变速箱壳体的加工为例,说明其实现过程(见图 5)。在完成零件信息输入和加工特征被确定之后,系统便可按照特征的技术参数通过工艺决策确定合理的加工方法链,进而按照特征加工顺序进行排序、组合和优化,最后采用参数驱动的方式生成各工步的 NC 代码,形成最终的 NC 程序,如图 6 所示。

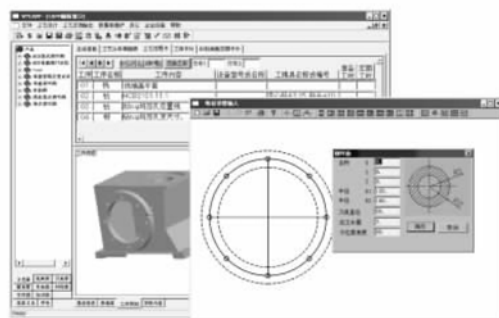


图5 加工特征的输入界面

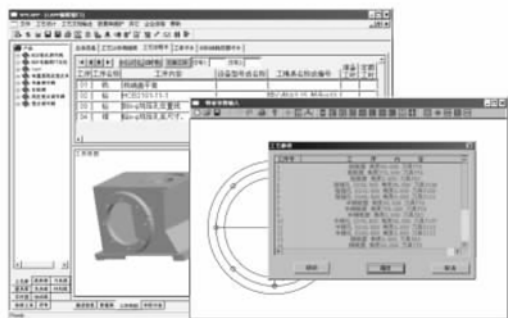


图6 加工特征的NC代码

6 结 论

本文在充分考虑到数控工艺设计的个性化特点后,从具体应用企业的实际情况出发,以加工特征和加工方法为基础,研究开发了箱体类零件的自动数控编程系统.在该系统中,数控工艺的设计问题被划分为2大模块,即:基于知识工程特征级的智能工艺决策过程;加工方法级参数驱动的派生式数控代码生成方法.通过对这2个模块的设计和实现,完成了数控程序的自动生成.值得指出的是,在该设计方案中,将传统的数控编程方法简化为按照加工方法或加工特征为单元的数控编程,不仅提高了数控程序设计的智能化、模块化和自动化,而且简化了数控程序的设计过程,提高了数控程序的效率,使过去数控编程经验以加工特征为载体的方法传承下来,从而增强了数控程序设计的标准化和规范化.当然,该系统仍然存在着许多不足之处,例如为了避免特征识别问题,系统根据企业已有零件及其加工工艺,对箱体类零件所包含的加工特征的确定仍是通过交互方式或类比方法实现的.如果在数控程序设计中,所涉及的零件是全新的情况下,就必须采用手工完成加工特征的分解问题.因此,系统的通用性问题还有待进一步研究.

参考文献:

- [1] 倪中华,易红,程洁,等. 基于 web 的零件工艺信息提取技术研究 [J]. 中国机械工程, 2001, 12(12): 1387-1389.
NI Zhonghua, YI Hong, CHENG Jie, et al. Research

on web-based part process information extracting technology [J]. China Mechanical Engineering, 2001, 12(12): 1387-1389.

- [2] 贾维,赵良才. 基于 STEP 和 WEB 的箱体零件 CAD/CAPP/CAM/PDM 集成技术研究 [J]. 机械制造, 2005, 43(488): 24-26.
JIA Wei, ZHAO Liangcai. Study on integration of CAD/CAPP/CAM/PDM based on STEP and web [J]. Machinery, 2005, 43(488): 24-26.
- [3] KURIC I, LEGUTKO S. Chosen aspects of modern CAPP systems [J]. Computational Methods in Science and Technology, 2001, 7(2): 65-74.
- [4] SHAH J J, MARTTI M. Parametric and feature-based CAD/CAM: concepts techniques and applications [M]. New York, USA: Wiley, 1995.
- [5] KRIANGKRAI W. Intelligent feature based process planning for prismatic part and five-axis lathe [D]. Pathumthani, Thailand: School of Engineering and Technology, Asian Institute of Technology, 2004.
- [6] FARUK C, CONSTANTIN C. An IT view on perspectives of computer aided process planning research [J]. Computers in Industry, 1997, 34(3): 307-333.
- [7] 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.
- [8] ZHANG Y J, LI Y L. New approach to selecting multiple tools for milling 2.5-D pockets [C]//Proceeding of the 2007 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2007). Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 2007: 2320-2325.
- [9] ELIAS M A. Building expert systems principles, procedures and applications [M]. New York, USA: West Publishing Company, 1995.
- [10] 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)