

基于特征的航空发动机典型机匣类零件车加工快速编程技术研究

撰文 / 中航工业沈阳黎明航空发动机（集团）有限责任公司 马明阳 张森堂 郑艳铭 高阳

随着三维设计软件和数控机床的广泛使用，工业生产对数控编程的规范性和高效性要求越来越高，传统的手工编程方式已经不能满足工业生产的需求。本文提出一种基于特征的车加工快速编程方法，以特征为基本加工单元，建立一种从加工特征识别、切削区域化分、切削参数加载到刀具轨迹生成半自动化的快速编程机制，并以 NX 软件为平台，开发了一套车加工快速编程工具，提高了车加工数控程序的质量和编程效率。

一、引言

随着航空领域对航空发动机性能要求的逐渐提高和数控加工技术的广泛应用，航空发动机零件逐渐向高性能、高精度的方向发展，采用传统编程方式造成的加工周期长、效率低及加工质量差等成为制约航空发动机零件研制的主要因素。究其根源，主要有以下几方面原因：（1）编程质量的好坏主要取决于编程人员的经验和专业水平，导致程序质量参差不齐；（2）系统只能通过交互方式点取产品几何信息，且缺乏数控编程资源库支持，无法自动获取加工区域信息、自动选取刀具和切削参数，自动化程度低；（3）编制的程序可移植性差，刀具轨迹的生成完全依赖于实际加工模型，即使非常相似的两个零件，也需要重新建立加工坐标系、几何体、选择切削参数等，编程效率较低，编程人员的重复劳动较大。研究和开发一套适用于航空发动机零件的快速编程系统，提高数控程序自动化编制水平已经成为当务之急。针对以上问题，本文提出了一种基于特征的车加工快速编程技术，采用向导指引的方式，以特征为基本加工单元，建立一种从加工特征识别、切削区域化分、切削参数加载到刀具轨迹生成半自动化快速编程机制，有效地提高车加工数控程序编制的效率和质量。

二、特征定义与识别技术

1. 特征定义

“特征”一词在工业领域中最早出现在 1978 年美国麻省理工学院 Gossard DC 教授指导的一篇学士学位论文“CAD 中基于特征的零件表示”中。不同的专业领域对特征有不同的定义，至今仍未有一个严格、完整的定义。在机械加工领域，特征是指在一定加工要求下，能够用相同或相类似加工手段加工出来的具有一定形状特征的零件部位。由此可以看出，加工特征不仅包含了零件的几何信息，还包括了加工方法和切削参数等制造信息，是 CAD/CAPP/CAM 信息的集成（图 1）。

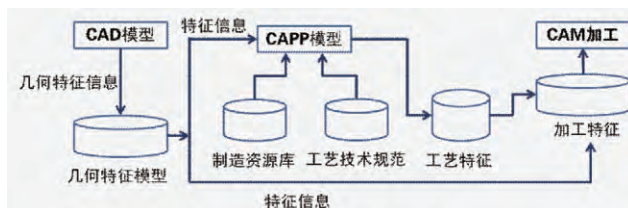


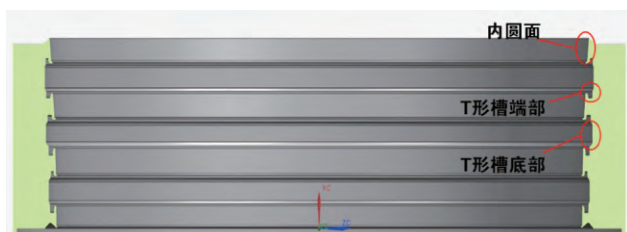
图 1 CAD/CAPP/CAM 中的特征信息模型

2. 机匣零件车加工典型特征分类

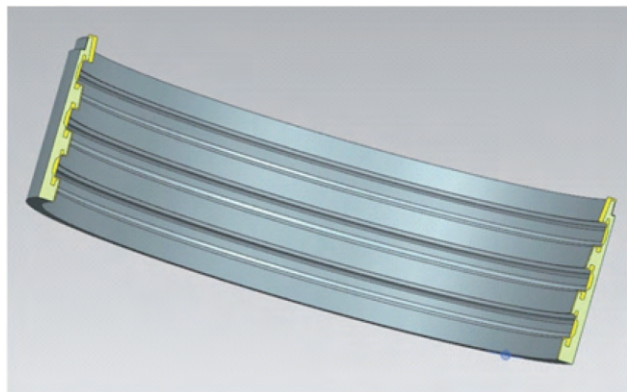
航空发动机机匣是发动机中的壳体、框架类零件，是飞机发动机的重要承力部件，属于静子部件，主要作用是承

载发动机零组件重量、承受轴向和径向力的作用。航空发动机机匣类零件种类繁多,结构复杂,按设计结构可以分为两大类,即环形机匣和箱体机匣。

本文主要针对环形机匣进行研究探讨,主要车加工区域为机匣内腔。通过对几类典型环形机匣进行全面分析,将内腔的加工特征分为以下3类:内圆面、T形槽端部和T形槽底部,每类加工特征根据具体细节的不同可继续细分,如内圆特征可分为直面内圆和斜面内圆两种,本系统研究的机匣类零件典型特征分类如图2所示。为了便于特征的检索和特征库资源的管理,对每种加工特征赋予一个指定的编码,通过对特征编码进行检索可以快速定位待识别特征以及对特征库的系统管理。



(a) 机匣类零件典型特征



(b) 机匣类零件典型特征

图2

3. 特征识别技术

特征识别技术的作用是从零件的设计模型中提取具有特定结构和特定工艺属性的几何形状的一种手段,具体识别流程如图3所示。目前,常用的特征识别方法主要有两种,一种是基于边界匹配的特征识别方法,另一种是基于立体分解的特征识别方法。

基于边界匹配的特征识别方法是通过对零件的边界进

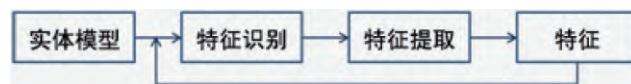


图3 特征识别流程

行识别,来匹配预定义的特征。具体步骤如下:(1)拾取特征的边界信息对特征进行定义;(2)搜索待识别零件的边界表示,将其与定义的特征进行匹配;(3)确定识别的特征参数,构造完整的特征几何模型。这种方法的关键是对特征边界模式的定义和特征搜索策略的确定。

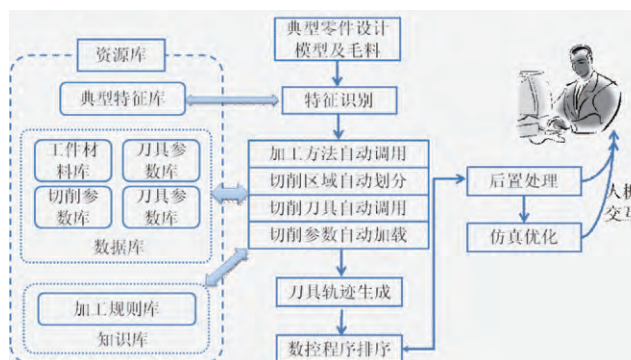
基于体分解的特征识别方法基本步骤如下:(1)首先对零件模型进行分解,将其分解为凸体的集合;(2)通过对分解的凸体进行重新组合,产生对应于特征的体元;(3)对特征体元进行分类,确定特征的类型,建立特征的体表示。

基于体分解的特征识别方法与基于边界匹配的特征识别相比,对识别相交特征和曲面特征有相对优势,但是总体上效率较低。因此,本系统采用基于边界匹配的特征识别技术,并将其应用到NX软件的MKE模块实现特征识别。

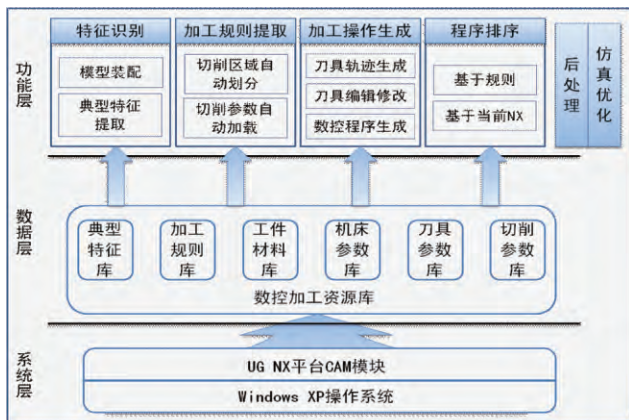
三、基于特征的车加工快速编程系统框架

为适应航空发动机零件数控编程自动化和智能化的要求,本文在NX平台的CAM模块中,将智能编程的思路引入到系统中,集成加工特征识别、切削参数加载和工艺资源知识库,建立了基于特征的车加工快速编程系统,系统框架如图4所示。

步骤1:模型预处理工作,在NX软件中将设计模型和毛坯模型按照设计要求装配在一个部件文件中,并对模型的典型特征进行确定,完成后台典型特征的特征识别和加工规则程序的编制。



(a) 车加工快速编程系统框架



(b) 车加工快速编程系统框架

图 4

步骤 2：调用车加工快速编程系统，识别零件的典型加工特征。

步骤 3：调用加工规则程序，选取特征所属的加工模块，实现切削区域的自动化分、切削刀具的自动调用和切削参数的自动加载，并生成刀具轨迹。

步骤 4：对步骤 3 中生成的刀具轨迹按照实际加工需要进行排序。

步骤 5：对刀轨程序进行后置处理和仿真优化，优化后的程序即可用于实际生产加工中。

1. 加工向导定制

本系统采用 NX 中的加工向导构造器模块 (Process Studio Author)，创建车加工向导。在加工向导构造器模块把典型零件加工的编程过程定制成向导模板，形成标准的流程，用户根据向导的指引可以快速完成坐标系的创建、刀具、加工方法的选取等操作，极大地缩减了重复性的工作。用户还可以根据实际需求定制加工向导，实现较为复杂的工作。对于经验不足的编程人员可以直接选取合适的加工向导，根据指引完成加工程序的编制，既保证了程序的质量，又缩短了程序编制周期。本系统设计的车加工向导如图 5 所示。

2. 辅助工具

在 NX 软件的加工模块中无法实现建模功能，在机匣类零件编程过程中通常需要创建辅助线或辅助面才能够实现一些程序的编制，这就需要编程人员在建模模块和加工模块不停的切换，给编程人员的工作带来了极大的不便。本系统采用在 NX 加工模块嵌入简单建模功能解决了上述问题。图 6 所示为在建模环境下调用拉伸命令。



图 5 车加工向导

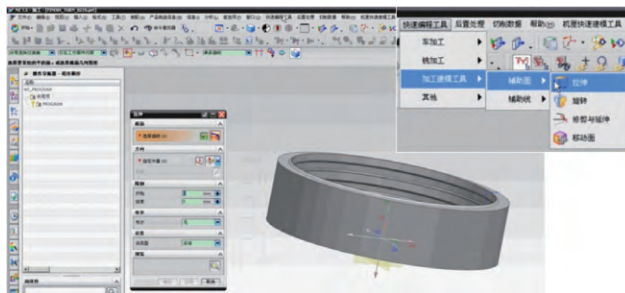


图 6 建模环境下调用拉伸命令

3. 数据库文件

航空发动机机匣类零件结构复杂，加工特征种类较多，为了能够实现零件数控程序的快速准确编制，需要丰富的数据库作为支持，将成熟的加工经验和典型加工方法固化下来，作为特征识别和程序编制的依据。数据库主要由以下几部分组成。

(1) 加工特征库：存储各类零件的典型加工特征，作为特征识别模块的基础特征（图 7）。

(2) 加工刀具库：存储刀具的主要参数，包括刀具的类型、形状和主要参数，便于编程时准确快速的调用所

需的刀具。

(3) 加工规则库：存储各个典型特征各加工程序所需要的加工策略，使用 NX 中的 MKE（加工知识编辑器，Machining Knowledge Editor）模块实现对加工规则的编制，通过对加工规则的调用可以实现数控程序的自动生成。

(4) 加工向导库：存储定制的向导模版，用户可以根据具体的加工需求从库选择合适加工向导进行数控程序的编制。

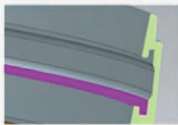
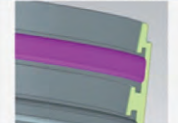
特征名称	特征代号	特征示意图	存档时间	存档人	备注
前机匣 T形槽端部	JX0001		2014.12.30	张三	
前机匣 T形槽槽腔	JX0002		2014.12.30	张三	

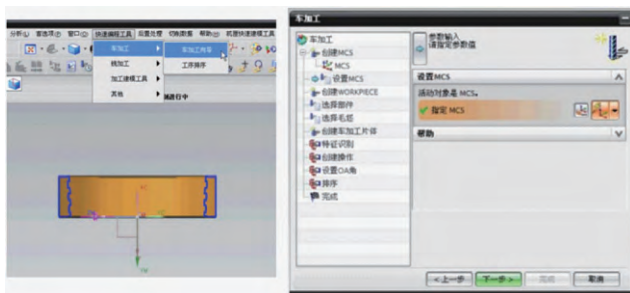
图 7

在实际编程过程中，编程人员根据具体需求从数据库中选择合适的模板文件进行程序编制，即可以提高编程效率，又能够保证编程质量。同时，编程人员还可以将常用的具有代表性的特征按照工作需求添加到数据库中，对数据库进行不断的丰富和完善，使编制出的加工向导和加工规则在更大的范围内发挥作用。

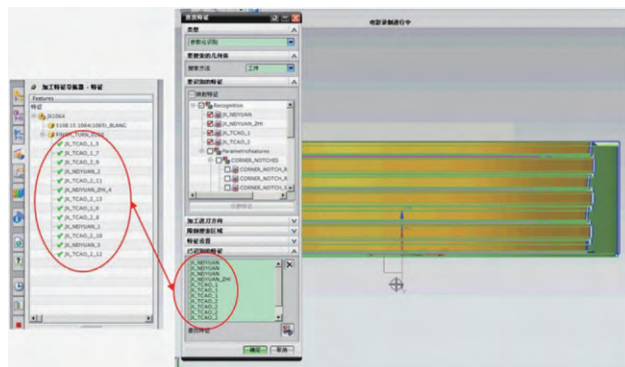
四、典型机匣类零件车加工快速编程实例

基于以上研究分析，本文应用航空发动机机匣零件（图 3）对车加工快速编程工具进行验证。

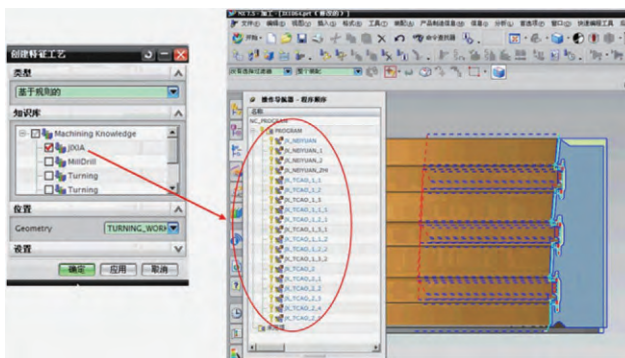
首先，根据该机匣件的结构特征，将内腔提取为 3 个典型特征，进入快速编程工具车加工向导模块（图 8a），



(a) 车加工向导调用



(b) 加工特征识别



(c) 创建加工程序

图 8

完成坐标系和车加工几何体的创建。其次，对典型特征进行识别，完成加工特征模板的调用（图 8b）。再次，调用加工规则程序，完成加工程序的创建（图 8c）。最后，根据实际加工需求，对生成的加工程序进行合理的排序，即完成该机匣件内腔车加工程序的创建。

五、结语

本文针对航空发动机机匣类零件结构复杂，编程效率较低等问题，提出了基于加工特征的机匣类零件快速编程方法。该方法通过对典型特征的归类、定义，能够实现机匣类零件数控编程过程中切削区域的自动划分、切削参数的自动加载以及刀具的自动选取和调用，极大地提高了编程的效率和准确性，为航空发动机复杂结构零件的快速编程技术提供了新思路。