

doi: 10.7690/bgzd.2015.12.002

# 基于特征的自动武器关重件数控加工工艺建模研究

姬文明, 方峻, 陈诚  
(南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

**摘要:** 针对自动武器关重件数控加工通用性低, 手动编程效率低等问题, 设计一种基于特征的自动武器关重件数控加工工艺建模方法。以自动武器某枪管弹膛特征数控加工为研究对象, 以 UG/NX 为研究平台, 通过分析某枪管的 CAD 文件及其加工工艺, 用 UG 平台的加工知识编辑器进行二次开发, 建立自定义加工特征, 并与自定义工艺规则相关联, 利用 UG 数控加工的特征识别及提取功能, 对自定义某枪管弹膛工艺特征进行识别并提取, 并得到加工工艺, 从而实现快速数控设计、加工一体化。分析结果表明: 该方法实现了自动武器枪管弹膛的数控加工的模拟, 最大程度地为自动武器行业数控编程者提供便捷。

**关键词:** 自动武器; CAD/CAM; 特征; 加工知识编辑器  
**中图分类号:** TJ205 **文献标志码:** A

## Research of Feature-based Automatic Weapon Important Pieces CNC Machining Process Technology

Ji Wenming, Fang Jun, Chen Cheng  
(School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** For the low versatility and manual programming efficiency of the automatic weapons' important pieces CNC machining, designed a method of automatic weapons important pieces of CNC machining process modeling based on the characteristics. With automatic weapons firing chamber features' barrel CNC machining as the research object, UG/NX platform for the study, through the analysis of a barrel' CAD and processing files, used UG platform machining knowledge editor for secondary development, built custom processing characteristics, associated with the custom processing rules. With UG CNC machining features recognition and extraction capabilities, identified and extracted the features of custom barrel chamber, got the process so as to realize the fast numerical control integration from design to process. The results show that: the method achieved a simulation of automatic weapons cartridge-chamber CNC machining. It can provide convenience for automatic weapons CNC programmers

**Keywords:** automatic weapons; CAD/CAM; feature; machining knowledge editor

### 0 引言

近年, 我国自动武器行业企业的生产条件已经得到极大改善, 但是在自动武器零件的数控编程过程中, 当遇到一个新的枪械零件时, 往往需要重新进行数控编程, 程序编制工作量较大, 效率较低。针对以上问题, 研究实现轻武器产品一体化的关键技术, 开发设计制造一体化工具显得尤为重要。

笔者以自动武器某枪管弹膛特征数控加工为研究对象, 以 UG/NX 为研究平台, 针对自动武器特征识别难, 新零件重复编程等难点, 通过分析某枪管的 CAD 文件以及其加工工艺, 用 UG 平台的加工知识编辑器进行二次开发, 针对某枪管弹膛建立自定义加工特征, 并与自定义工艺规则相关联, 利用 UG 数控加工的特征识别及提取功能, 对自定义某枪管弹膛工艺特征进行识别并提取, 并得到加工工艺从而实现快速数控加工。该方法旨在提高自动武器数控加工效率, 进一步实现了特征识别系统与

CAM 系统的无缝连接。

### 1 NX 特征识别及基于特征的数控加工

#### 1.1 特征识别

基于特征的数控加工利用 UG/NX 中的特征识别功能, 并为识别的特征创建合适的加工工序, 使得编程更方便、更简单, 可最大程度地提高编程的效率<sup>[1]</sup>, 但是 UG/NX 特征识别规则也有一定局限性。在基于特征的加工过程中, 系统识别特征后, UG/NX 会为特征在加工知识库内匹配合适的加工规则, 并由加工规则创建对应的操作。有些复杂 CAD 特征即使识别后也是无法创建加工工序的, 这就需要手动为其定义特征模板及规则, 为后续数控加工提供模板以提高效率。

#### 1.2 NX/CAM 中特征加工模板

NX/CAM 模块中自带 2 种加工类型模板: 一种是孔加工模板, 能对简单孔特征(沉头孔、埋头孔、

收稿日期: 2015-07-08; 修回日期: 2015-08-25

基金项目: 国防科技基础重大科研项目“基于三维模型的××产品设计制造集成应用”

作者简介: 姬文明(1989—), 男, 陕西人, 硕士, 从事自动武器关重件三维数控加工技术研究。

螺纹孔等)指定加工工序;另一种是特征铣模板,能为面特征、开口型腔、封闭腔指定加工工序。图 1 为 UG/NX 自带孔特征模板。孔加工(hole making)模板用于创建点位加工的工步和刀具轨迹。

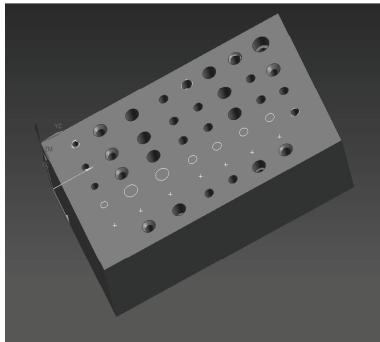


图 1 孔模板

### 1.3 基于特征加工过程

基于特征加工的过程如下:首先识别 CAD 特征或者用户自定义特征(UDF),再指定几何体或标记几何体,并且将这些特征分类,然后将加工方法指定给加工特征,列出加工特征,为这些不同工步赋予不同的加工刀具,按照 KF(knowledge fusion)定义规则给这些工步赋予不同的加工参数<sup>[2]</sup>,加工流程如图 2。

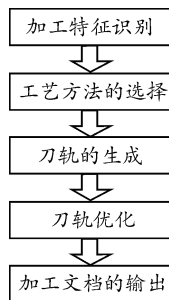


图 2 特征加工流程

依据上述加工原理可知:基于特征加工的过程,其加工操作都是由对应的加工规则创建的。下面以加工一个直径为 12 mm 的简单孔特征为例,讲述如何为特征指定合适的加工规则。以下过程表示在毛坯上加工出一个 STEP1HOLE 的孔特征时的过程及其采用的加工规则。首先,UG/NX 会筛选得到一些候选规则,这些规则都可以创建在毛坯上加工出 STEP1HOLE 的孔的加工操作,基于特征的工艺设计可以得到特征的若干条可行的加工方法以及相应的切削参数、加工设备和刀具等信息<sup>[3]</sup>,通过在加工知识编辑器里创建的过滤器,生成满足要求的规则列表,UG/NX 也会在内部生成同样的列表。

UG/NX 内部的选择操作会先选择优先级最高的规则(即 Priority 值最高的规则)。笔者赋予规则

的优先级是基于该道加工的成本,成本最低的工艺则获得最高的优先级。在此例中,将先尝试 Drill\_S1H 这条规则来创建加工操作来加工此孔特征,如图 3 所示,这是加工规则应用的标准之一。但由于在此例中该规则所创建的操作不能满足孔的公差要求,所以在此例的加工中不会采用这条规则。

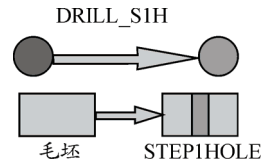


图 3 Drill\_S1H 规则尝试

然后,尝试下一个具有最高优先级的规则(即加工成本最低的规则),Drill\_in\_center\_S1H。然而,由于使用麻花钻加工也达不到 H7 的公差要求,这条规则和 Drill\_S1H 规则一样被舍弃。略过具体选择过程,直到最终选择 Ream\_S1H 这条规则来创建加工操作,如图 4。因为这条规则能满足尺寸和表面精度要求,所以应用此规则并将此作为新节点。

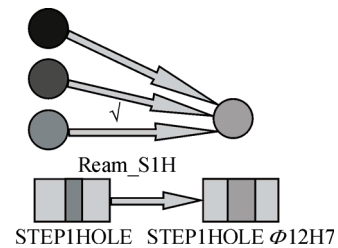


图 4 Ream\_S1H 规则尝试

这个新节点是加工过程中的一个特征,Ream\_S1H 规则的加工操作能够满足孔直径方面的尺寸公差。加工过程中的 STEP1HOLE 特征将作为 UG/NX 内部选择操作的新目标,将为此特征选择对应的加工规则来达到此特征。系统出现和之前类似对应的规则列表,并从具有最高优先级的规则开始尝试。最终尝试规则为 Drill\_in\_center\_S1H。此规则能满足所有的应用条件,因此将此特征作为新的节点,如图 5 所示。

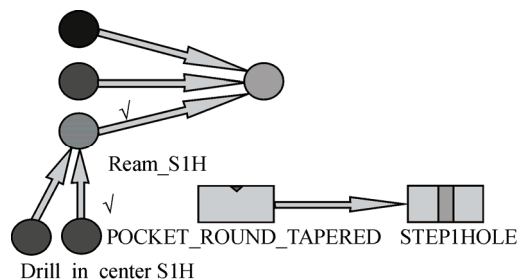


图 5 采用 Drill\_in\_center\_S1H 规则

此时,将此进程中的 POCKET\_ROUND\_

TAPERED 特征作为新的加工节点。加工过程中的 POCKET\_ROUND\_TAPERED 特征将作为 UG/NX 内部选择操作的新目标, 将为此特征选择对应的加工规则得到此特征。最终将采用 Spot\_Drill 这条规则, 此规则能满足所有条件, 因此将该特征作为新的节点。Spot\_Drill 特征的输入特征为空白特征, 即毛坯, 如图 6 所示。从此例中可以看到, 最终的工艺都是逆向推理, 即从最终特征向毛坯推理<sup>[4]</sup>。

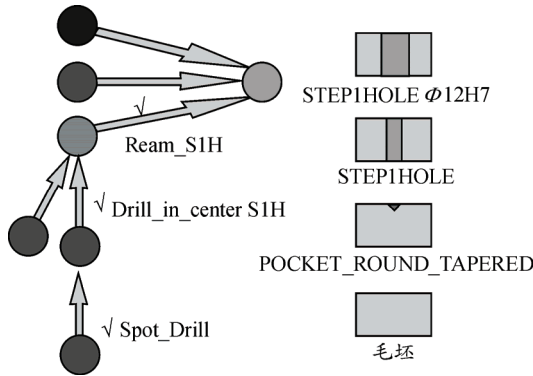


图 6 逆向流程

## 2 自动武器加工特征分类及方法定义

### 2.1 自动武器特征分类

自动武器是利用火药燃气发射弹头并能自动装弹的武器, 其主要组成部分如下: 闭锁机构、退壳机构、供弹机构、击发机构以及发射机构(还有其他辅助机构)。自动武器类产品因其本身的特殊性, 其特征具有多样性, 详细的专用枪械特征如图 7 所示。将这些特征提取并自定义为自动武器特有的特征, 以便用于基于特征的数控加工。

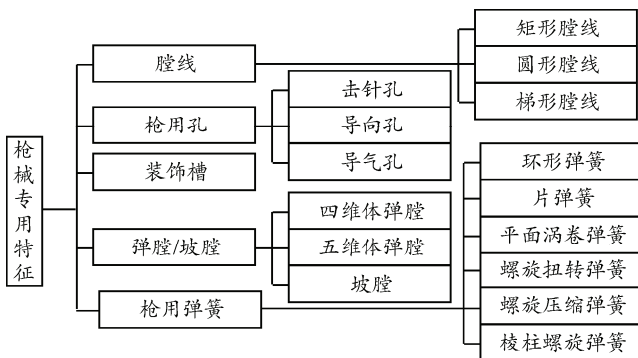


图 7 枪械专用特征

结合上述机构以及辅助机构对自动武器特征进行提取并分类, 得到以下主要特征: 1) 孔特征(如枪管弹膛、击针孔、导气孔); 2) 曲面及型腔特征(如机匣、弹匣); 3) 槽特征(如皮卡汀尼导轨、螺旋槽)。而枪管是自动武器中主要零件之一, 非常典型。自动武器的制造特点, 突出地在枪管制造中反映出来。

### 2.2 自定义自动武器加工特征及加工规则

因为五锥体的弹膛的加工更复杂, 有很强的代表性, 所以笔者将对由五锥体构成的弹膛特征进行研究。UG/CAM 模块中只有简单的孔特征, 而对于笔者要研究的某枪管弹膛, 由于锥体较多, 加工较复杂; 所以不可直接引用现成的模板进行数控加工。基于此, 需要在 UG/CAM 基础上利用加工知识编辑器进行二次开发, 手动添加一些弹膛的特征, 并为之定义合适的加工规则, 从而实现某弹膛数控加工的一体化, 为以后弹膛数控加工提供可借鉴模板。根据某枪管弹膛的加工工序及工步, 在 NX/CAM 中添加用于加工弹膛的特征: SDJQQG\_DT\_SKZTK 等, 如图 8 所示。

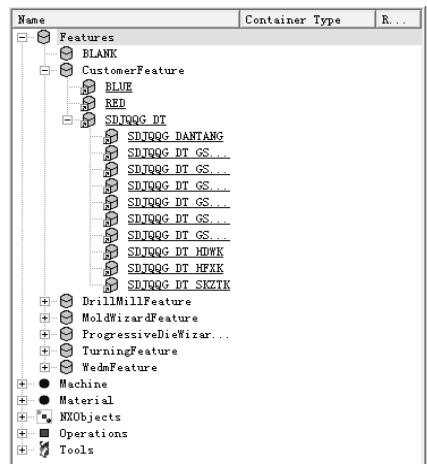


图 8 添加的弹膛特征列表

由于添加的枪管弹膛加工特征是全新的特征, NX/CAM 中没有针对这些特征的规则, 所以暂时还无法在 UG/NX 中生成弹膛的加工工艺。根据弹膛加工的工序及工步, 自定义适用于该弹膛的加工规则: ShenKongZuanTongKong, HuDingWeiKong 等, 如图 9 所示。

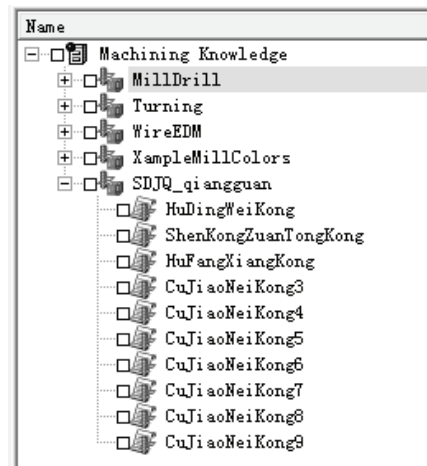


图 9 添加的加工规则列表

以 HuDingWeiKong 为例,下面具体分析如何创建加工规则。

输出特征设置为 SDJQQG\_DT\_HDWK,输入特征设置为 BLANK(即毛坯),操作类型设置为 SPOT\_DRILLING,优先级设置为 3,如图 10 所示。

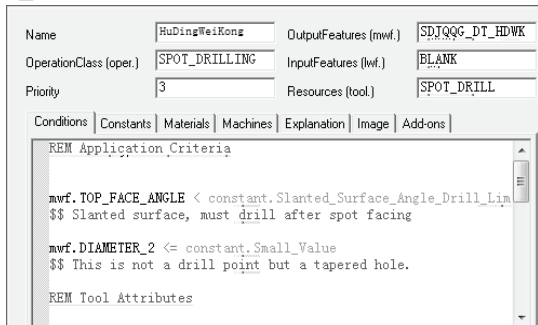


图 10 输入输出特征设置

规则自定义是在 Conditions 模块中进行,如下:  
REM Application Criteria//  
mwf.TOP\_FACE\_ANGLE <constant. Slanted\_Surface\_Angle\_Drill\_Limit//  
mwf.DIAMETER\_2 <= constant.Small\_Value//  
REM Tool Attributes//  
tool.Diameter > mwf.DIAMETER\_1  
tool.PointAngle >= (2 \* ATAN (0.5\*(mwf.DIAMETER\_1 - mwf.DIAMETER\_2)/mwf.DEPTH))-2  
tool.PointAngle <= (2 \* ATAN (0.5\*(mwf.DIAMETER\_1 - mwf.DIAMETER\_2)/mwf.DEPTH))+2  
IF mwf.DIAMETER\_1 < constant.Center\_Cham

-fer\_Limit THEN tool.Diameter <= constant.Center\_Chamfer\_Limit//

REM Less Worked Feature Attributes. Are Not Applicable since this starts from BLANK.

上述为钻定位孔的部分详细规则,定义了定位孔的尺寸、刀具的尺寸及钻定位孔的相关操作。

### 2.3 基于特征的数控分析及模块开发

完成上述自动武器特征与加工规则的自定义后,笔者利用 Excel 工具并结合 Visual Studio 软件开发平台建立一个基于特征的数控分析模块。该模块内嵌与 UG/NX 的接口,可以通过该接口读取 UG/NX 内部文件,从而得到 UG/NX 内所建立三维模型的特征及结构参数,同时在该模块内添加 UG/NX CAM 模块的基础数据,如其内部孔特征模板库基本尺寸以及其他制造参数。在读取了所需要的三维模型结构参数后,可以把读取到的参数与 UG/NX CAM 模块内部数据库的结构参数作对比并实现结构参数的关联,如果读取到的结构参数与数据库内部参数相符合,则可以匹配到该模板库内嵌的相关加工规则及工艺。

表 1 为某枪管加工的部分工艺卡,对其进行相关数据的提取然后内嵌到数控分析模块,当有合适的特征匹配到该工艺,则创建的数控分析模块会自动对其进行读取并附加到需要的特征。

表 1 某枪管部分加工工艺

工步号	工步内容	刀具	量具	辅具
01	下料、热处理、校直	协作加工		夹具
02	镗深孔钻定位锥孔 8×60°	镗钻, 31·07-1B	刻线量规	夹具
03	深孔钻通孔尺寸 $\phi 12_0^{+0.18}$	外购钻头 $\phi 12.1$	游标卡尺	夹具
04	车深孔, 镗 1.5×60°孔	镗钻, 31·07-1B	塞规	夹具
05	车外圆 $\phi 54$ , 倒角 2×C1.5		游标卡尺	夹具
06	粗铰内孔 $\phi 12.60_0^{+0.18}$	铰刀, 31·07-1B	游标卡尺	夹具
07	校直		卡规	夹具

以简单孔以及槽特征为例进行验证该模块数控分析功能,具体流程如图 11 所示。

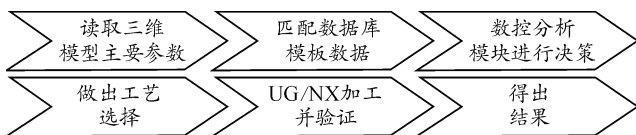


图 11 数控分析加工流程

该数控加工分析模块界面如图 12 所示。

可以看出:读取到的数据孔径为 4,槽宽为 30,系统从内部数据库匹配参数来与读取到的数据做出比较,如果能匹配到相同的值,则系统默认该特征可以匹配到合适的工艺,如图所示最终得到的工艺为工艺 1 与工艺 8。如果匹配不到合适参数则出错,

此时需要对内部的工艺做出修改或者选择添加型新工艺以适应更多的加工需求。

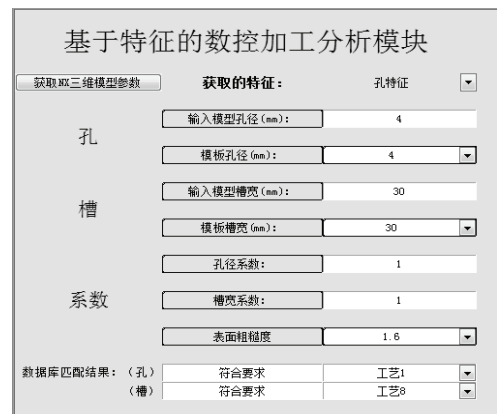


图 12 获取三维模型结构参数

当读取的特征参数变化后,系统自动做出决策,并继续从内部数据库匹配合适的工艺,及时做出工艺的更换。

当读取了输入的结构参数后,该模块可以遍历模板库所有参数,实现与输入参数的对比,从而匹配合适的特征及加工工艺规则。如果输入全新特征,则需重新定义以及加入新的模板库数据及参数。该模块旨在提高自动武器关键件数控加工的效率。

### 3 某枪管弹膛数控加工

#### 3.1 弹膛结构及技术要求

弹膛通常由 2~5 个锥体组成,锥体的数目取决于枪弹的结构。以弹壳口部定位的 59 式枪弹,弹膛为 2 个锥体;56 式 7.62 mm 枪弹,弹膛为 4 个锥体;54 式 12.7 mm 和 56 式 14.5 mm 枪弹,弹膛均为 5 个锥体,如图 13 所示。

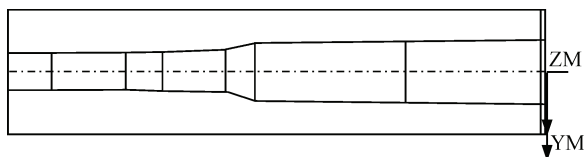


图 13 某五锥弹膛

对弹膛的技术要求主要有:

- 1) 弹膛的径向尺寸精度要求在 IT9~10 级之间,其公差均为 0.05 mm;
- 2) 弹膛的轴向尺寸多为未注公差尺寸,按 IT14 级加工;
- 3) 弹膛的表面粗糙度通常为 Ra0.8~0.1,多数为 Ra0.2。

#### 3.2 弹膛加工

弹膛加工的过程中加工余量大,且精度要求高。加工中常用的工艺方案是:粗铰→半精铰→精铰→抛光。粗铰、半精铰和抛光均在机床上进行,精铰一般由手工完成<sup>[5]</sup>。根据以往的经验以及各工厂的数据得知,弹膛加工工艺及工步如下:

- 1) 在机床上粗加工第 1 和第 2 锥体(即预加工);
- 2) 在机床上半精铰第 1 和第 2 锥体,粗铰第 3 和第 4 锥体;
- 3) 弹膛各锥体的手工精加工(即精铰);
- 4) 弹膛的抛光。

结合上述数控分析模块以及上游 CAD/CAM 文件,以某弹膛的加工为例,笔者通过 UG/NX 数控加工模块进入加工操作,查找定义的特征然后匹配已经定义的加工规则及工艺,然后根据该规则生

成的加工工序及结果如图 14、15 所示。



图 14 生成的工序

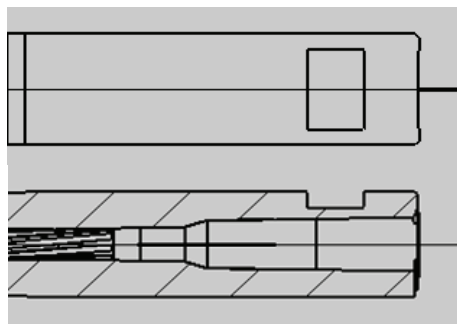


图 15 生成的模型

## 4 结论

针对自动武器关键件数控加工通用性低,手动编程效率低等不足之处,笔者利用 UG/CAM 平台进行二次开发,结合 Excel 工具开发数控分析模块,实现了自动武器某枪管弹膛特征及其加工工艺规则的自定义,从而实现了某枪管弹膛的从设计到加工的一体化。该方法旨在为自动武器数控加工行业提供便利,为以后研究自动武器枪管的数控自动化加工提供了参考依据。

## 参考文献:

- [1] 温正,魏建中. UG NX 数控加工[M]. 北京:科学出版社, 2009: 317-325.
- [2] 侯永涛,丁向阳. UG/Open 二次开发与实例精解[M]. 北京:化学出版社, 2007: 92-107.
- [3] 倪卫华,曾建江,陈文亮. 基于特征参数化的工艺设计方法[J]. 电气技术与自动化, 2002(1): 36-38.
- [4] 胡文伟. 特征建模与特征识别及其在 CAD/CAPP 集成中的应用[D]. 南京:南京航空航天大学, 2006.
- [5] 唐庆源,董存学. 自动武器制造工艺学[M]. 北京:兵器工业出版社, 1990: 38-46.