



简建帮

## 基于 MBD 和特征的飞机结构件数控加工方法

简建帮<sup>1</sup>, 洪建胜<sup>2</sup>, 李迎光<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 南京航空航天大学 机电学院, 南京 210016; <sup>2</sup> 成都飞机工业(集团)有限责任公司, 成都 610092)

**摘 要:** 针对当前基于特征的飞机结构件数控加工由于特征信息不完整导致的工艺决策、数控编程以及在线检测自动化程度不高、质量不稳定、效率低等问题, 提出了基于 MBD 和特征的飞机结构件数控加工方法。该方法以飞机结构件 MBD 模型为唯一依据, 自动识别模型中的几何特征信息和非几何信息, 并以此为基础进行自动工艺决策、数控编程和在线检测。MBD 模型中非几何信息的自动获取大大减少了人工交互, 避免了由于人员个体输入产生的数据异意性、不完整性和冗余性, 提高了工艺决策、数控编程和在线检测的自动化程度、质量和效率。根据以上研究, 在 CATIA V5 平台上开发了基于 MBD 和特征的飞机结构件数控加工系统, 该系统已在国内某大型航空企业中得到良好应用。

**关 键 词:** MBD; 特征; 飞机结构件; 数控加工; 在线检测

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1003-8728(2011)05-0756-05

## A NC Machining Method for Aircraft Structural Parts Based on Model Based Definition and Feature

Jian Jianbang<sup>1</sup>, Hong Jiansheng<sup>2</sup>, Li Yingguang<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016;

<sup>2</sup> Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co. Ltd, Chengdu 610092)

**Abstract:** To solve the problems of low automatization degree, instability of quality and low efficiency in process planning, NC program and on-line inspection, which is caused by incomplete feature information in current feature-based NC machining for aircraft structural parts, a NC machining method based on model based definition (MBD) and feature for aircraft structural parts is proposed. This method uses MBD model of aircraft structural parts as the only basis, recognizes the geometry feature and non-geometric information in the model automatically, and makes automatic process planning, NC program and on-line inspection. The automatic acquisition of non-geometric information in MBD model reduces manual interaction significantly, avoids different views, incompleteness and redundancy of data due to the entry by individual, as well as improves automatization degree, quality and efficiency of process planning, NC program and on-line inspection. Based on these studies, a NC machining system based on MBD and feature for aircraft structural parts on the CATIA V5 platform is developed and it is used well in a domestic large aviation enterprise.

**Key words:** MBD; feature; aircraft structural parts; numerical control (NC) machining; on-line inspection

飞机结构件是构成飞机机体骨架和气动外形的

重要组成部分, 主要包括框、梁、肋等多种类型<sup>[1]</sup>。为减轻重量, 零件多采用等强度设计, 形成各种复杂型腔<sup>[2]</sup>。与一般机械零件相比, 飞机结构件结构复杂, 包含大量自由曲面、相交特征和特殊加工区域, 加工特征类型、数目多, 加工难度大。基于特征的数控加工技术以特征为信息载体, 能有效集成加工知识和经验, 是数控加工技术发展的重要趋势<sup>[3]</sup>。

在传统以二维工程图纸为主、三维实体模型为辅的模式下, 基于特征的飞机结构件数控加工技术

收稿日期: 2009-12-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50905087), 国家科技重大专项项目 (2010ZX04015-011), 航空科学基金项目 (2010ZE52057) 和江苏省高校自然科学基金基础研究项目 (10KJB460003) 资助

作者简介: 简建帮 (1985-), 硕士研究生, 研究方向为 CAD/CAPP/CAM/PDM, jianjianbang@nuaa.edu.cn; 李迎光 (联系人), 教授, 博导, welcome.li@nuaa.edu.cn

具有如下不足:

1) 工艺决策自动化程度不高、效率低。基于特征的工艺决策以附加工艺信息的几何特征为信息载体,采用基于规则/知识的推理进行自动工艺决策<sup>[4,5]</sup>。由于采用三维CAD模型表达几何信息,而公差、精度、表面粗糙度等非分散在二维工程图纸中,特征识别方法一般是自动识别零件的几何信息,非几何信息需要人机交互输入<sup>[6]</sup>,效率低。

2) 数控编程返工修改量大。当前基于特征的CAPP系统大多采用“模板+推理”方式生成工艺规程指导加工。特征非几何信息的缺失导致自动工艺决策结果不完整,数控编程过程中需人工添加工序或工步,且需反馈至工艺决策,修改量大,效率低。

3) 在线检测人工输入量大。基于特征的在线检测能自动根据检测特征生成检测数据点,对零件进行在线检测<sup>[7]</sup>。但作为检测依据的零件公差等信息需要人工根据二维图纸输入,工作量大,效率低且数据正确性难以保证。

针对以上问题,提出了基于MBD和特征的飞机结构件数控加工方法。该方法将MBD技术和特征技术相结合,以飞机结构件MBD模型为唯一依据,自动识别模型中的几何特征信息和非几何信息,并根据该信息进行自动工艺决策、数控编程和在线检测,提高了工艺决策、数控编程以及在线检测的质量和自动化程度。

## 1 基于MBD的飞机结构件定义

MBD(model based definition),即基于模型的定义,是一个用集成的三维实体模型来完整表达产品定义信息的方法,它详细规定了三维模型中产品尺寸、公差的标注规则和工艺信息的表达方式<sup>[8]</sup>。MBD在2003年被ASME批准为机械产品工程模型的定义标准,标准号为ASME Y14.41<sup>[9]</sup>。随后,Siemens PLM Software、PTC、Dassault等公司将该标准应用于各自的CAD系统中,支持三维标注。ISO组织借鉴ASME Y14.41标准制定了ISO16792标准,为欧洲以及亚洲等国家的用户提供支持<sup>[10]</sup>。

与一般机械零件相比,飞机结构件具有零件尺寸大、加工特征类型数目多,零件结构复杂,精度要求高等特点,三维定义复杂度高,同时由于没有图纸定义产品尺寸,实体建模精度的检验显得尤为重要。飞机结构件MBD模型定义存在以下特点:

1) 准确性定义。采用主几何模型和公差定义,保证飞机结构件的位置、形状和误差的准确定义。其中,主几何模型由坐标系统、基准面/基准线系统、

以及主尺寸表面模型等内容组成,表达零件产品的主要尺寸空间和几何外形特征;而公差定义用来定义特定结构特征上的尺寸、形状和位置误差。

2) 规范化定义。飞机结构件定义中包含各种各样的规范化的文件和文本描述,这些非几何信息是产品数字化定义的重要组成部分,包括标准说明、零件说明、材料说明以及一些特定的加工工艺说明等。

3) 面向工艺的定义。由于MBD模型是数字量传递体系的基础,为了减少传递环节中定义内容的增减所带来的问题,需要在设计阶段考虑后续的制造工艺和质量控制,比如装配时的安装定义信息,如铆接、密封定义。

飞机结构件MBD模型的结构特征树以分类结点的方式表达飞机结构件的所有几何和非几何信息,结点类型及说明如表1所示。图1为某飞机框类零件在CATIA中的MBD模型。

表1 飞机结构件MBD模型的结构特征树结点类型及说明

结点类型	说明
零件实体	零件实体特征造型
外部参考	关联到其它产品实例的几何元素
构建几何	创建本模型实体特征时所需的 基本几何元素,如点、线、面等
工程几何	坐标系统和基准面信息
出口控制	由字母和数字组成的分类编号, 用于识别各商品,以进行出口控制
标准说明	用于对知识产权和有关管理信息的 说明,定义的具体内容由设计公司 决定,比如:工程内容概述、装配 说明、安装要求、版权说明等
零件说明	针对整个零件的制造工艺要求,包括零件 加工通用几何公差要求、精度要求、加工技术 及表面处理要求等信息
标注说明	对于零件特定结构特征的加工工艺需求
材料描述	原材料需求的设计定义,包含了相关的原材料、 原料集合、或者制造产品所使用的半成品零件
审批状态	定义零件当前的审批状态
装配连接	包括铆接、焊接、密封、垫片补偿定义等
标注集	捕获 一个视角方向的信息记录,用于 显示模型中的几何元素和标注元素
	视图 通过标注平面管理模型中的标注元素
	基准 用来确定生产对象上几何关系 所依据的点、线或面
	尺寸 对于要求检验和要求具有特殊几何尺寸 公差的零部件结构特征,标注其尺寸
	公差 包括通用公差和特定公差,通用公差应用于 所有未标注特定公差的产品结构特征上
	注解 对零件特定结构特征进行注解说明



在线检测以飞机结构件 MBD 模型为唯一依据,实现基准、公差和精度等非几何信息的自动提取和检测

结果的分析。基于 MBD 和特征的在线检测流程如图 4 所示。

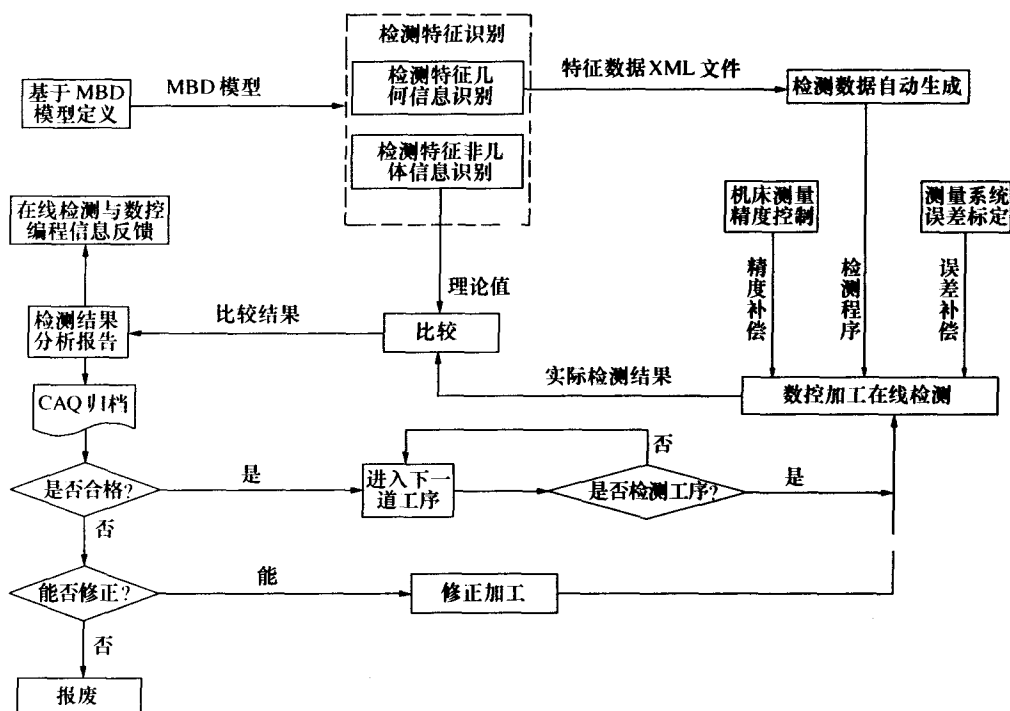


图 4 基于 MBD 的在线检测流程

步骤 1 对 MBD 模型进行检测特征识别,该特征识别包括几何信息和非几何信息的识别,几何信息的识别结果用于检测数据的生成,而非几何信息的识别结果,如基准、尺寸、公差和精度等信息用于与检测结果比较。

步骤 2 根据检测特征识别的几何信息自动生成检测数据。

步骤 3 根据检测数据、机床测量的精度补偿和测量系统的误差补偿等数据对零件进行在线检测,生成零件检测结果。

步骤 4 将检测结果和检测特征识别的非几何信息进行比较,生成检测结果分析报告。

步骤 5 对检测分析报告进行处理,包括 CAQ (计算机辅助质量控制) 归档、在线检测与数控编程信息反馈<sup>[7]</sup>以及判断零件是否合格。若零件合格,则进入步骤 6;若零件不合格,则判断其能否修正,若能修正,则进行修正加工后再转入步骤 3,否则零件报废。

步骤 6 进入下一道工序,若该工序为检测工序时,转入步骤 3,否则继续进入下一道工序重复,只至零件加工完成。

### 3 应用实例

根据以上研究,在 CATIA V5 平台上开发了基于 MBD 和特征的飞机结构件数控加工系统,该系统已在某大型航空企业的飞机结构件数控加工中得到了良好的应用。图 5 为某典型双面框类零件数控加工流程。

首先,根据飞机结构件定义规范、飞机主几何模型等外部信息和零件的功能需求,采用 CATIA V5 的零件设计和功能尺寸和标注功能对该零件进行几何设计和非几何信息的定义。其次,对 CAD 中设计的 MBD 模型进行特征识别,该识别包括几何特征信息和非几何信息的识别,并将识别结果生成 XML 文件传递给 CAPP 系统进行工艺决策,生成工艺规程。然后,根据工艺规程,采用基于特征的快速程编系统对零件进行数控编程,生成加工刀轨,经过刀轨仿真实正确无误后,在机床上进行数控加工。最后,当执行检测工序时,根据检测数据自动生成模块生成的检测程序,采用雷尼绍 MP16 接触式测头对零件进行在线检测,并将检测结果与零件设计时的理论值进行比较,生成检测结果分析报告,若零件不合格则判断其能否进行修正加工,若能,则修正加工后再检测,否则零件报废。

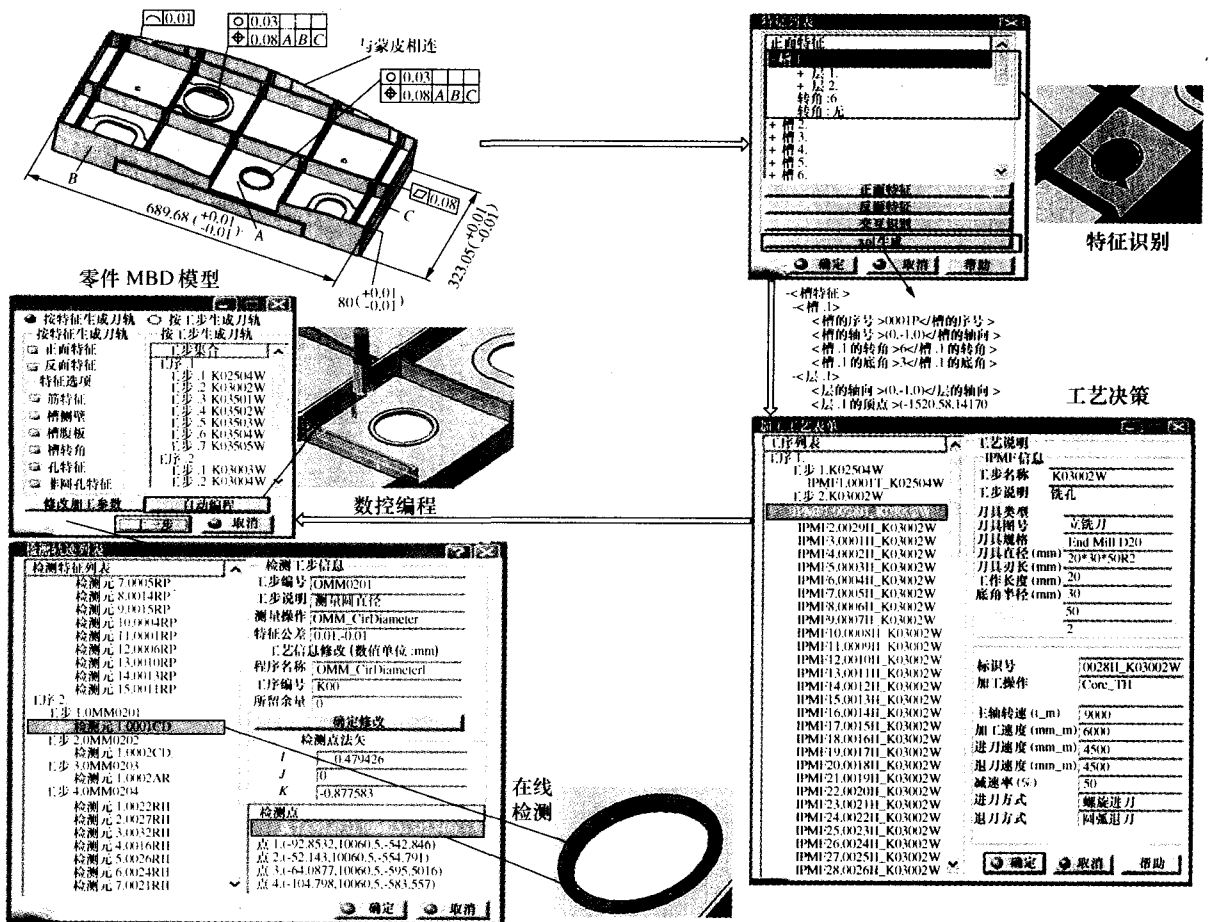


图5 某典型双面框类零件数控加工流程图

#### 4 结论

针对传统以二维工程图纸为主、三维实体模型为辅的基于特征的飞机结构件数控加工技术由于特征信息不完整导致的工艺决策、数控编程以及在线检测自动化程度不高、质量不稳定、效率低等难点,笔者提出了基于 MBD 和特征的飞机结构件数控加工方法。该方法与传统基于特征的数控加工方法相比,具有如下特点:

1) 以飞机结构件 MBD 模型为唯一依据,自动识别模型中的几何特征及附着在几何元素上的工艺信息,保证了特征信息的完整性,提高了工艺决策的质量和自动化程度。

2) 由于工艺决策质量的提高,数控编程的正确性得以保证,返工量减少,提高了编程效率和编程质量。

3) 基于 MBD 和特征的在线检测自动获取 MBD 模型中的检测特征和公差等检测信息,提高了在线检测效率和准确度。

#### [参考文献]

- [1] 张振明, 许建新, 贾晓亮等. 现代 CAPP 技术与应用[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2003
- [2] 李宁, 田锡天, 黄利江. 飞机结构件槽特征加工路径优化算法研究[J]. 机械科学与技术, 2008, 27(10): 1253 ~ 1256
- [3] Li Y G, et al. Research on feature-based rapid programming for aircraft NC parts [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2008, 10(12): 682 ~ 687
- [4] Lee H. Rule-based process planning by grouping features[J]. *KSME International Journal*, 2004, 18(12): 2095 ~ 2103
- [5] 王小辉, 乔立红. 基于特征的数控加工工艺的决策支持[J]. 成组技术与生产现代化, 2005, 22(1): 39 ~ 42
- [6] 王正刚, 葛友华, 刘道标. 基于特征模板的工艺生成方法研究[J]. 制造技术与机床, 2005, (6): 65 ~ 69
- [7] 丁永发. 基于特征的飞机结构件在线检测数据自动生成与分析[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009
- [8] 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
- [9] Y14.41-2003 *Digital Product Definition Data Practices*[S]. New York: ASME, 2003
- [10] 卢鸽等. 基于模型的数字化定义技术[J]. 航空制造技术, 2008, (3): 78 ~ 81
- [11] 王伟等. 面向加工过程的飞机结构件加工特征排序方法[J]. 机械科学与技术, 2010, 29(12): 1638 ~ 1645