

基于特征的数控编程技术在航空企业的推广应用*

李 强¹,李迎光¹,刘 旭¹,汤立民²

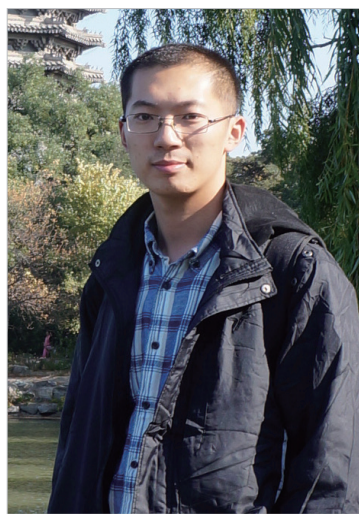
(1. 南京航空航天大学机电学院,南京 210016;

2. 中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司数控加工厂,成都 610091)

[摘要] 针对国内航空企业飞机结构件数控编程中存在的重复工作量大、效率低、质量不稳定、规范性差等问题,通过面向多主机厂推广基于特征的数控编程技术,切实提高飞机结构件数控编程的效率与质量。首先概述了基于特征的快速程编(FBM_NUAA)系统的整体架构,并且介绍了基于特征的数控编程技术在多家主机厂中的推广与应用情况,以及前期推广中遇到的问题,并提出了解决方案。根据多主机厂多机型过百项飞机结构件的实际应用结果表明采用基于特征的快速程编系统进行数控编程,刀轨平均自动生成率超过90%,编程时间较传统编程方式平均缩短70%以上。

关键词:飞机结构件;数控编程;特征技术;FBM_NUAA;系统应用

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2016.06.058



李 强

机械工程硕士,研究方向为CAD/CAM/CAPP智能集成技术、复杂自由曲面加工技术。

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

*基金项目:国家科技重大专项(2012ZX04010041)。

包括框、梁、肋等多种类型^[1]。新一代飞机的高指标也对其结构件提出了更高要求,有着零件整体化、尺寸大型化、加工复杂化、材料多样化等特点,这些特点使得飞机结构件结构复杂,加工特征多,包含大量自由曲面、相交特征和特殊加工区域,数控编程难度大^[2]。国内各大型航空企业投入数百亿巨额资金购买大量先进的五轴数控机床,但设备有效利用率低,其主要原因在于数控编程重复工作量大、效率低、质量不稳定。难度大、重复工作量多、效率低主要是由于飞机结构件数控编程过程中需人工捡取大量几何、设置大量参数和创建大量辅助几何。飞机整体结构件的采用大大减少了飞机机体零件数目,减少了装配工作量,使飞机的制造质量显著提高。随着整体件、薄壁件及特种材料件的增多,数控编程工作量大增加,飞机结构件的

数控编程日益成为影响飞机研制周期的重要瓶颈之一。基于特征的数控编程技术以加工特征为信息载体,能有效集成加工知识和经验,是数控编程技术发展的重要趋势^[3]。

基于现阶段航空主机厂中飞机结构件数控编程的现状,在主机厂中进行基于特征的数控编程技术的推广与应用有着重要的意义。特征编程技术不仅能有效提高数控编程的效率与质量,更能将工艺员从繁重的数控编程工作中解脱出来,重新回归到工艺本身,在积累总结已有工艺知识的同时,不断拓展新工艺。

快速程编系统 FBM_NUAA 的功能架构

以基于特征的数控编程技术为核心的快速程编 FBM_NUAA 系统经过近 10 年的开发与应用,系统不断完善,目前已包含 5 大模块,近 20 项

功能,并以航空结构件数控加工领域为基础实现了向航空发动机以及航天领域进行扩展。FBM_NUAA 系统的整体功能架构如图 1 所示,包括系统设置、加工特征识别、工艺决策、刀轨生成、编程工具箱。

系统设置: 主要进行用户工作目录、数据库地址以及在线更新地址的设定。系统计算过程中特征识别、刀轨生成等信息会保存在用户工作目录中。数据库目录设定主要用于配置机床库、刀具库、切削参数库等工艺资源库。在线更新地址完成设置之后,当服务器上有新版本系统发布之后,FBM_NUAA 系统能够完成新版本的在线更新,维护升级方便。

加工特征识别: 根据零件实体

模型,建立全息属性面边图^[4]与属性边点图^[5]自动识别加工特征。在自动加工特征识别的基础上,为了进一步提高加工特征识别的准确率,用户可以使用交互识别功能对自动加工特征识别结果进行局部修正。完成特征识别之后输出特征识别结果,以便下游工艺决策模块调用。

零件辅助几何创建: 由于下发的零件数模具有不可更改性,禁止任何数据的添加与删除,所以在数控编程过程中工艺员需要新建空白零件以便保存各类辅助面线,然后通过装配模块将新建零件添加到原始零件中,该过程比较繁琐。系统中辅助几何空间创建功能可以自动创建辅助几何存储零件,与原始零件组成装配

体。

工艺决策: 主要包括飞机结构件中各类典型特征(筋顶、内型、腹板、转角等等)的工艺决策,决策过程主要包括加工特征排序、加工特征驱动几何重构、生成加工操作、加工操作优化排序等步骤。作为系统的核心功能,经过前期应用实践,该部分功能得到了极大的完善,为了提高系统的使用效率以及易用性,将总体工艺决策模块进行了工具化处理,形成了针对各类特征的工艺决策工具,包括筋顶工艺决策工具、内型工艺决策工具、腹板工艺决策工具、转角侧铣工艺决策工具、转角插铣工艺决策工具等。

刀轨生成: 在生成所有加工操

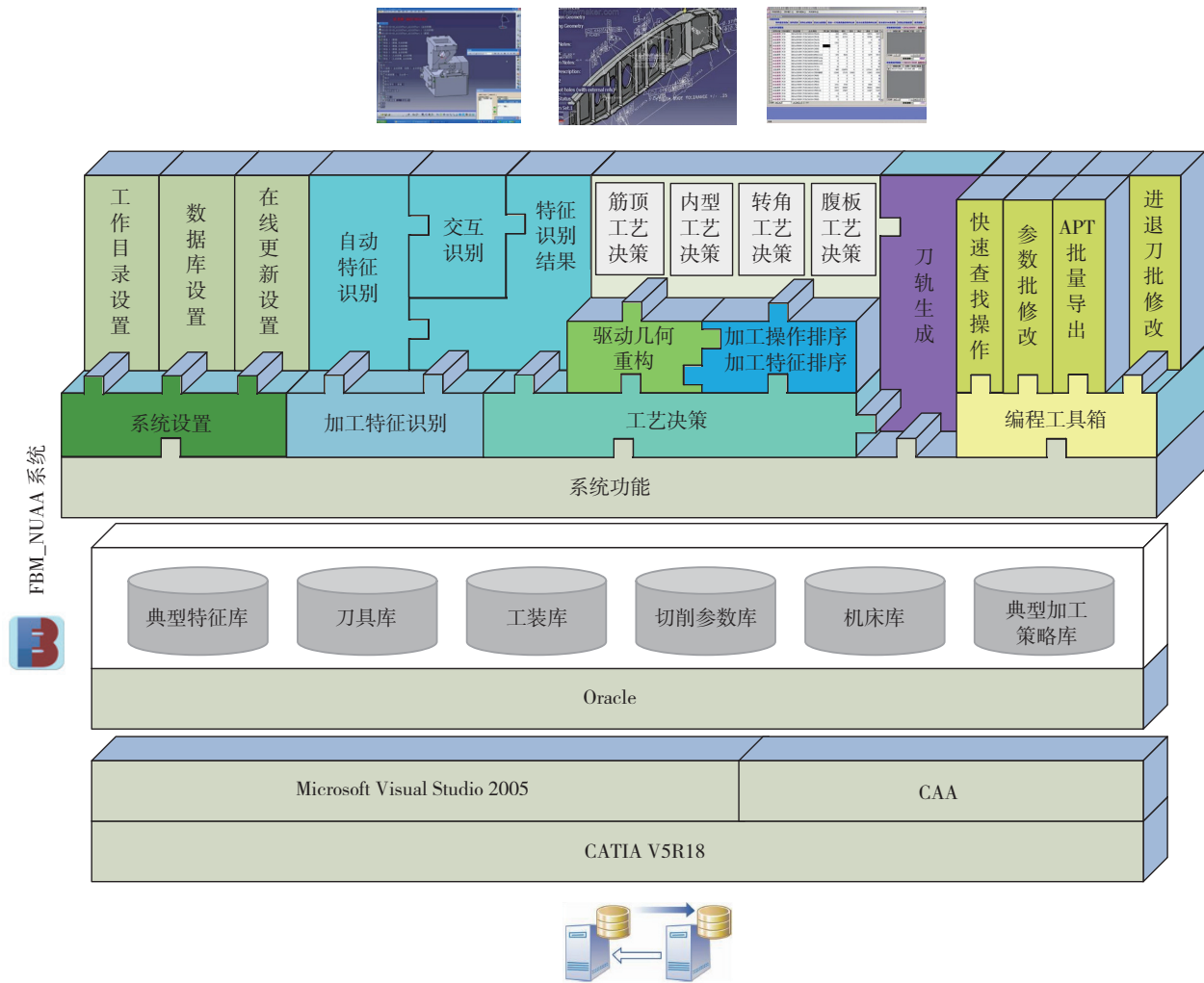


图1 FBM_NUAA 系统整体功能架构
Fig.1 Architecture of FBM_NUAA system

作以后,调用刀轨生成模块可以进行刀轨计算以及刀轨的快速查看,同时针对刀轨错误的情况提供了取消、删除等处理办法供用户选择。

编程工具箱:编程工具箱的开发与使用是提升工艺员编程效率的又一重要途径,旨在减少工艺员的重复工作量,该模块包括进退刀批量修改、加工操作参数批修改、APT程序批量导出、操作查找、VT连接、可视化进退刀修改等数项工具。编程工具箱的使用提高了FBM_NUAA系统的适应性,让工艺员在修改手动编程的程序时也能享受到FBM_NUAA系统带来的方便与快捷。

特征编程技术的推广应用

FBM_NUAA系统在国内某大型航空制造企业应用了数年,经过不断更新完善之后,在国家科技重大专项:高档数控机床与基础制造装备的支持下快速程编系统具备了在行业内推广应用的条件。

原有FBM_NUAA与国内某大型主机厂内部切削参数库、刀具库等进行了集成,因此原有系统并不利于实际推广,项目组提炼出原有系统的精华部分实现FBM_NUAA系统的工具化模块化,使系统使用更加方便,工艺人员上手更快,同时各单位可以根据自身情况对相应的功能进行定制。

1 产生的新问题

一个新的技术在推广应用的过程中很难做到一帆风顺。由于各个主机厂建模规范和编程规范以及不同类型零件之间的差异,在前期的推广过程中,也出现了一些新的问题,对快速程编系统的兼容性以及稳定性提出了挑战。

(1)刀轨策略优化问题。在生产过程中往往伴随着零件自身变形、刀具受力等问题,很容易导致零件质量不合格,甚至报废和刀具损坏的情况,在某些复杂区域常常会有很多空

走刀,这些问题往往是由于加工刀轨不合理引起的,需要开发优化的走刀策略提高加工质量;

(2)工艺决策的过程没有考虑零件的加工中间状态,工艺决策效果不够理想。由于零件的整个加工过程复杂,从毛坯粗加工再到各个局部的精加工,这一系列工艺过程信息的获取完全依赖于工艺编程人员的主观判断和相关仿真软件的几何仿真结果,对几何仿真反馈回来的结果的处理方法也没有形成标准,完全依赖个人的工作习惯,处理的质量稳定性较差,这一系列过程增加了工艺准备的周期,扩大了工艺流程准备的范围。

(3)加工刀轨与国产机床与数控系统的适应性问题。现有商业CAM软件生成的加工刀轨难以完全适应国产机床与数控系统的动态特性等特点,不能有效发挥国产机床与数控系统的性能。如传统加工刀轨在加工转角时加工速度与切削力变化剧烈,不能很好适应国产机床的性能,且容易导致刀具震动与磨损加剧,尤其是钛合金的加工。

2 解决方案

针对以上在前期推广中出现的

问题,课题组进行了技术攻关,采用了以下解决方案,并在中期推广中得到了很好的应用验证,进一步丰富了FBM_NUAA系统的加工工艺知识库,同时提高了系统在复杂情况下工艺优化处理的能力。

(1)局部走刀策略优化。

针对刀轨生成策略进行了完善与优化。如在转角插铣中,增加了第三退刀点,如图2中点P所示,即退刀时刀具沿轴向和径向退出一段距离,再快速退刀,避免了退刀过程中零件和刀具的摩擦造成的零件已加工表面擦伤或者刀具损坏等情况。

内型轴向分层铣削和孤峰结构侧铣刀轨^[6]能够有效地减少加工中

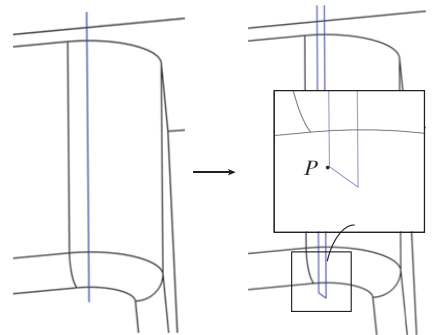


图2 转角插铣退刀优化

Fig.2 Retract optimization of the corner plunge milling

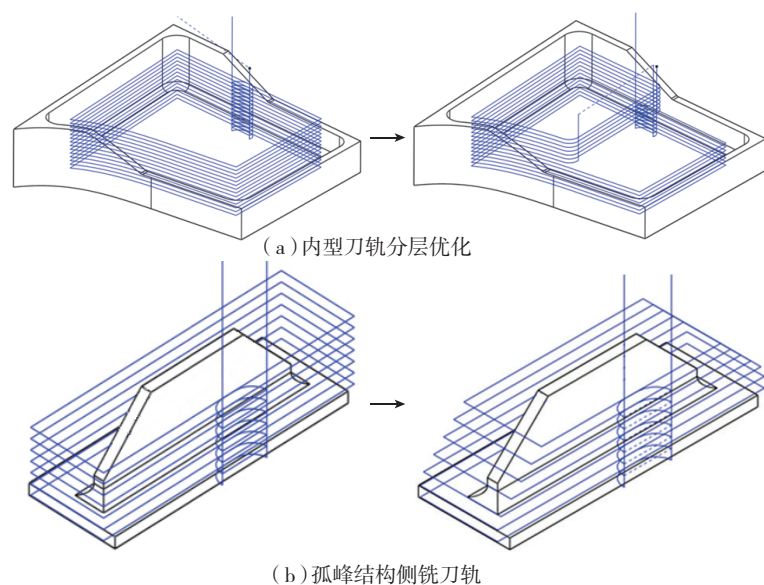


图3 刀轨优化

Fig.3 Tool path optimization

系统应用实例

选用如图 6 所示的复杂飞机结构件做为实例零件。首先工艺人员需要进行常规设置,包括机床设置、加工坐标系设置、加工工件选择、安全平面设置等。

完成设置后进入 FBM_NUAA 系统,点击系统设置图标进行系统设置,设置用户工作目录,其他默认。单击特征识别图标,进行加工特征识别,用户可以点击零件或者点击特征树进行加工特征结果查看,选中的特征在零件上会进行高亮居中显示,对于识别错误或者未识别的加工特征用户可以进行交互识别进行修改和添加,输出特征识别结果,供下游模块调用,零件特征自动识别结果如表 1 所示。

由于下发数模的不可更改性,点击辅助几何空间创建图标,快速创建辅助几何存储空间,用来存储系统计算过程中所需要的几何元素信息。

快速编程系统对工艺决策部分进行了细化,针对零件的每种加工特征系统都可以独立进行工艺决策,这样工艺员可以根据自己的实际需要,对指定类型特征生成加工轨迹,如图 6 所示,依次进行筋顶、内型、腹板、转角侧铣、转角插铣的工艺决策与操作添加,自动工艺决策生成的操作并不能保证 100% 正确,所以个别操作需要进行手动修改,表 2 中对该零件工艺决策过程中系统自动添加的加工操作、手动进行修改的操作个数以及时间进行了统计。

当工艺员发现某些参数设置不合理时,传统上只能对加工操作逐一

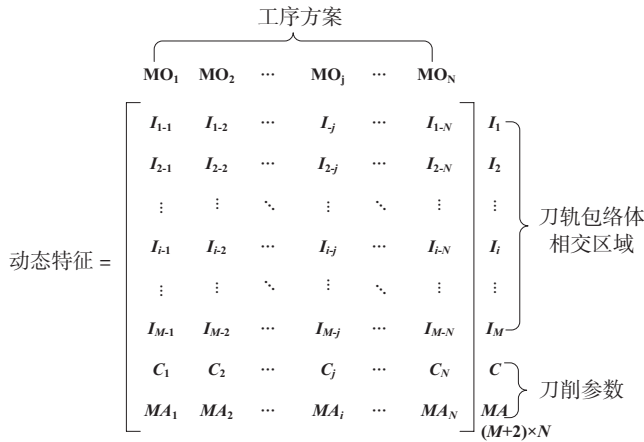


图4 多TPE间的关联关系
Fig.4 Relationship matrix of Multi-TPE

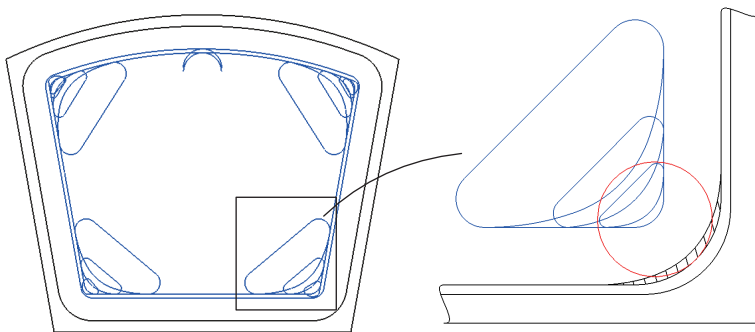


图5 内型转角一体化加工刀轨
Fig.5 Profile and corner integration tool path

无效走刀时间,提高加工效率,如图 3 (a) 所示系统自动根据内型高度的不同进行加工操作再划分。如图 3 (b) 所示。以上加工刀轨都能够有效地改善和避免在加工过程中出现的一些问题。

(2) 基于动态特征的工艺决策。

采用基于动态特征的方法来决策和优化零件工艺方案^[7],将工艺方案的决策转化为对非理想中间切削状态的优化,并引入加工过程状态的传递及约束关系分析,如图 4 所示,建立多 TPE 间的关联关系分析加工状态变化,通过分析各加工状态间的关联关系,最终实现优化工艺方案的获取。

(3) 内型转角一体加工刀轨。

针对传统加工刀轨在加工转角时加工速度与切削力变化剧烈造成的刀具磨损加剧、加工表面质量差等

问题,课题组提出了一种内型转角一体加工刀轨^[8],该刀轨相比于传统的内型转角加工刀轨具有明显的优势:消除了因内型转角分开加工产生的接刀痕,根据恒定接触角和最大接触角原则实现转角循环加工算法。

这种方法避免了换刀,提高了工件表面加工质量;考虑了接触角对刀具受力的影响,提出了恒定接触角和最大接触角原则,保障加工过程中机床的平稳性,减少刀具震动,延长了刀具的使用寿命,生成的刀轨如图 5 所示。

表1 零件特征自动识别结果

零件	特征类型	特征个数	自动识别个数	识别率 /%
	槽特征	32	31	96.9
	筋特征	60	56	93.3
	孔特征	16	16	100

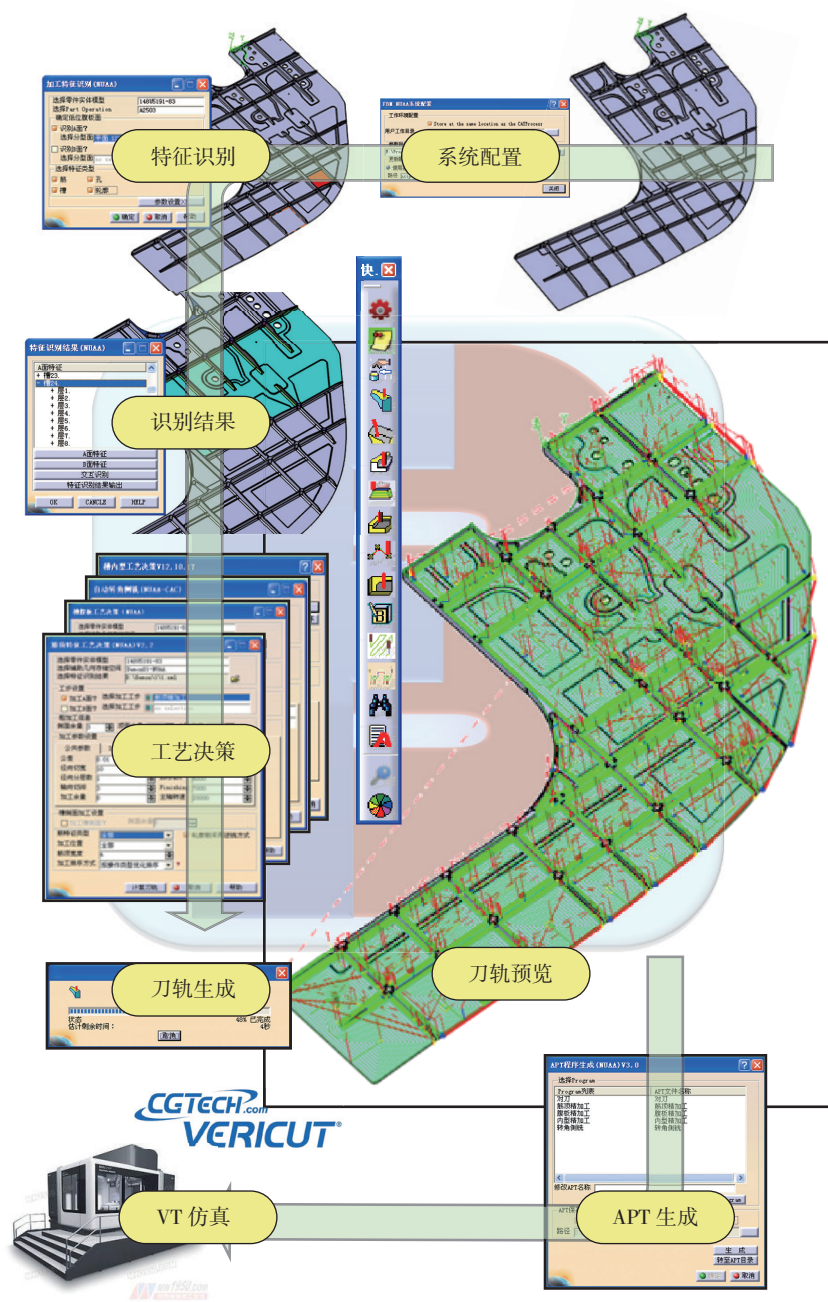


图6 系统应用实例
Fig.6 Example of system application

件使用FBM_NUAA系统的总编程时间为55.64min,而人工编程对比时间为469min。

应用结果分析

2013年7月至今,共组织进行了7次飞机复杂结构件特征技术推广培训会,在5家航空主机厂中进行了快速编程FBM_NUAA系统的推广应用,通过多主机厂各机型过百项零件的应用,结果表明:

(1)实现编程自动化,消除重复劳动。最大限度减少编程员在飞机结构件数控编程过程中几何元素的捡取工作,减轻编程员工作负担,提高编程效率,缩短零件工艺准备时间;

(2)提高编程规范化,增加工艺稳定性。实际应用中,FBM_NUAA系统不断吸收着工艺人员优秀的工艺经验,消除了编程过程中人工编程的随意性;

(3)优化的工艺和走刀策略。传统人工编程在处理弱刚性等特殊部位时通常的做法是降低进给速度、减少切深,保证了加工质量但是牺牲了加工效率。经过不断的应用与总结,FBM_NUAA采用优化的工艺与走刀策略能够兼顾加工效率与加工质量。

结束语

快速编程系统的不断升级完善,除了南航、成飞以及各参研单位的努力付出以外,还要特别感谢各应用

进行修改,如果零件尺寸较大的话通常会有上百个操作需要修改,重复工作量大,影响工艺员的工作情绪。FBM_NUAA系统的编程工具箱中提供了加工参数批量修改功能,能够快速进行指定参数的批量修改。如图6所示刀轨预览为最终生成的刀轨。批量导出APT程序后置处理后,进行VT仿真。如表2所示,最终该零

表2 零件工艺决策指标统计

零件	加工位置	自动添加操作数/个	需要修改数/个	时间/min	人工编程/min
	筋顶	131	11	20.17	86
	腹板	84	2	8.52	54
	内型	127	18	19.25	157
	转角	118	2	7.7	172
	总计	460	33	55.64	469

单位的大力支持。采用基于特征的快速编程 FBM_NUAA 系统, 工艺员数控编程效率和编程质量都有了较大的提升, 获得各应用单位的一致好评。基于特征的快速编程系统的刀轨平均自动生成率超过 90%, 编程时间较传统编程方式平均缩短 70% 以上^[9]。

为了让基于特征的数控编程技术得到更好的应用效果, 下一步工作主要分为两方面:

(1) 将各应用单位更多的优秀工艺经验融合进 FBM_NUAA 系统的知识库中, 进一步提高系统的稳定性以及多主机厂的适应性;

(2) 与各应用单位继续深入合作, 以此次技术的推广应用为契机, 与各单位建立起长期的应用-反馈机制, 并持续更新 FBM_NUAA 系统。

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.

ZHANG Zhenming, XU Jianxin, JIA

Xiaoliang, et al. Modern CAPP technology and Application[M]. Xi'an: Northwest Industrial University Press, 2003.

[2] 郭旺, 翟建军. 飞机结构件的数控加工技术研究 [J]. 机械制造与自动化, 2005, 34(1):52-55.

GUO Wang, ZHAI Jianjun. The research of nc machining technology of aircraft structure[J]. Machinery Manufacturing and Automation, 2005, 34(1):52-55.

[3] 韩雄, 汤立民. 大型航空结构件数控加工装备与先进加工技术 [J]. 航空制造技术, 2009(1):44-47.

HAN Xiong, TANG Limin. NC machining equipment and advanced machining technology for large aircraft component[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(1):44-47.

[4] Li Y G, DING Y F, MOU W P, et al. Feature recognition technology for aircraft structural parts based on a holistic attribute adjacency graph[J]. Journal of Engineering Manufacture, 2010, 224:271-278.

[5] 施建飞, 李迎光, 刘旭, 等. 基于属性边点图的飞机结构件筋特征识别方法 [J]. 计算机集成制造系统, 2014, 20(3):521-529.

SHI J F, LI Y G, LIU X, et al. Rib feature recognition method for aircraft structural parts based on vertex attributed adjacency graph[J].

Computer Integrated Manufacturing Systems, 2014, 20(3):521-529.

[6] 南京航空航天大学. 复杂结构件群峰特征自适应轮廓轮廓铣削刀轨确定方法 [P]. 中国, 201410214549.0, 2014-08-13.

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics. The complex structure of peaks characteristics of adaptive contour milling tool path method to determine around [P]. China, 201410214549.0, 2014-08-13.

[7] LI Y, LIU X, GAO J X, et al. A dynamic feature information model for integrated manufacturing planning and optimization[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2012, 61(1): 167-170.

[8] 高鑫, 李迎光, 张臣, 等. 飞机结构件内型转角一体加工刀轨生成方法 [J]. 航空学报, 2014, 35(9): 2660-2671.

GAO Xin, LI Yingguang, ZHANG Chen, et al. An integrated machining tool path generation method for corner and profile of aircraft structural parts[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2014, 35(9): 2660-2671.

[9] 李慧. 特征编程技术引领数控加工的新方向 [N]. 中国航空报, 2013-12-26T02.

LI Hui. Feature programming technology to lead the new direction of NC machining[N]. China Aviation News, 2013-12-26T02.

Applications of Feature-Based CNC Programming Technology in Aviation Enterprises

LI Qiang¹, LI Yingguang¹, LIU Xu¹, TANG Limin²

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. CNC Machining Workshop, AVIC Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd., Chengdu 610091, China)

[ABSTRACT] The most traditional way for aircraft structural parts CNC programming in current manufacturing industry is artificial-dependent based on existing commercial CAM systems which will induce problems like massive repeat workload, low efficiency, unstable quality and lack in standard. Feature based CNC programming technology has been proved to be practical in facilitating automation and standard by integrating geometry with standard machining knowledge. In this paper, the framework of a feature based CNC programming system named FBM_NUAA is first summarized. Then challenges and proposed solutions during the wide application of feature based CNC programming technology in aviation enterprises are introduced. FBM_NUAA system is used for automatic CNC programming in more than 100 real aircraft structural parts belonging to different kinds of airplane in different aviation enterprises. The result shows that more than 90% tool paths are generated automatically and the total time for CNC programming is reduced to 70% on average.

Keywords: Aircraft structural part; CNC programming; Feature technology; FBM_NUAA system; System application

(责编 大漠)