

基于 MBD 的飞机自动化装配孔工艺特征快速添加技术*

陈亚丽¹, 田威¹, 廖文和¹, 万世明²

(1. 南京航空航天大学, 南京 210016;

2. 中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司, 成都 610000)

[摘要] 为了解决飞机自动化装配离线编程系统信息来源问题,在分析特征技术和 MBD 技术应用于数字化装配方面特点后,提出一种将 MBD 技术与特征技术相结合的装配孔工艺特征快速添加技术。该技术以 MBD 模型为基本单位,结合现阶段航空蒙皮类产品建模特点,通过工艺特征将几何信息与工艺信息相结合,建立了面向飞机自动化装配系统的产品工艺特征信息模型。为实现装配孔工艺特征在产品数模上的快速添加,在 DELMIA V5 平台上开发了面向 CAD 数模的信息添加功能模块,完成了产品工艺特征信息模型的建立,为飞机自动化装配离线编程系统提供了良好的数据源,实现了 CAD/CAM/CAPP 系统的集成化和数据共享。

关键词: 基于模型定义;特征技术;装配孔工艺特征;产品工艺特征信息模型;快速添加技术

Quickly Adding Technology for Aircraft Automated Assembly Hole Processing Features Based on MBD

CHEN Yali¹, TIAN Wei¹, LIAO Wenhe¹, WAN Shiming²

(1. Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. AVIC Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

[ABSTRACT] Assembly hole processing features are basic and important for the off-line programming system of aircraft automated assembly. In order to solve the problem of information source of assembly hole processing features, the characteristics of feature technology and the model-based definition (MBD) technology in digital assembly are illustrated. Then, a quickly adding technology for the assembly hole processing features is proposed, in which MBD technology and feature technology is integrated. After that, the modeling characteristics of the aircraft skin product are represented. With the MBD model as basic unit, an information model of the product processing features is constructed by processing features in which geometry and process information of the model is combined. To realize the quickly adding technology on product analog, the function module of information adding on DELMIA V5 has been developed for CAD digital models. Finally, the information model of the product processing features is established. The model provides good data source for aircraft automated assembly off-line programming system and realizes the CAD/CAM/CAPP system integration and data sharing.

Keywords: Model-based definition; Feature technology; Assembly hole processing feature; Information model of product processing feature; Quickly adding technology

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.23/24.082

随着数字化制造技术的发展及其在飞机装配中越来越广泛的应用,装配技术已经逐步从手工装配向自动化装配方向发展。此外,现代飞机产品中复杂整体结构件的采用、机体结构长寿命、高质量、高效率等要求,使得飞机装配制孔比以往要求更精、更严。同时,现代飞

行器机体结构中复合材料、钛合金比重大幅度上升,给飞机自动化装配中自动制孔设备的制孔能力提出了更高要求^[1]。飞机自动化装配主要依靠自动钻铆系统通过离线编程系统与控制系统依据装配指令文件相互协调完成飞机部件的装配任务^[2-4]。

装配指令文件的获取有两种方式:一种为手工编写;一种为利用离线编程软件自动生成。

* 基金项目:航空科学基金项目(2013ZE52067);江苏省科技支撑计划(BE2012171)。

第一种方式因效率低并且容易出错,已较少采用,目前采用第二种方式。但是对于传统的 CAD 系统,加工对象的几何模型主要用来形象表达产品结构,对于 CAD/CAM 集成系统,几何模型不仅要显示图形,而且需要为 CAM 系统提供所需要的加工生产信息,例如对于飞机自动化装配用离线编程系统,不仅需要加工对象的几何模型,还要与加工对象有关的诸如孔位、孔径、铆钉类型等加工制造信息^[5-6]。因此,本文针对飞机自动化装配用钻铆系统,探讨其配套离线编程软件最基础的技术之一:装配孔工艺特征快速添加技术。

本文提出基于模型定义的飞机自动化装配孔工艺特征快速添加技术,结合 MBD 与特征技术,利用良好的人机界面实现 CAPP 和 CAM 所必需的几何信息和非几何信息的集成,解决 CAD 与 CAPP、CAM 系统的集成化以及数据资源共享的问题。

1 基于模型定义的装配孔工艺特征

1.1 装配孔工艺特征需求分析

图 1 为现阶段飞机部件典型的建模方式示意图,在飞机部件进行建模时,由于飞机产品孔位较多,CAD 中的孔特征并不是用实体特征孔进行描述,而是用点和线表示,点表示孔的中心位置,线表示孔的方向,结构树中只包括部分几何信息,如点的坐标和线段的长度。

航空产品的数字化模型只提供了关于点的几何信息,并不能满足飞机自动化装配离线编程系统的需求。离线编程系统不仅要规划刀尖点的位置,还要规划装配过程中由于不同材料、不同孔径、不同铤窝信息等引起的铆钉型号的选择、刀具种类的选择、刀具参数的差异等加工信息。特别需要注意的是,在飞机装配时经常会遇到在钛合金、复合材料或铝合金、复合材料两种甚至于钛合金、铝合金和复合材料 3 种材料构成的叠层材料上制孔的情况^[7-8],如图 2 所示。

同一个产品包含众多加工要求不同的孔位,不同的直径、不同的铤窝角度等对应不同的刀具;不同的直径、不同的材料等对应不同的铆钉类型;在同一个位置制孔,不同的材料有不同的主轴转速和进给速度要求,针对同一种材料,当孔深度与孔直径之比超过一定数值时,要进行啄钻式制孔,这些需求都要在定义孔工艺特征工艺模时考虑到。

1.2 基于模型定义的装配孔工艺特征

特征是为了表达产品的完整信息而提出的一个新概念,是针对不同应用的相关几何、属性、说明等信息的集合。在传统的以二维图纸为主、三维实体为辅的模式下,基于特征的数字化装配技术存在工艺决策自动化程度不高、数控编程返工修改量大等缺点^[9]。MBD 技术

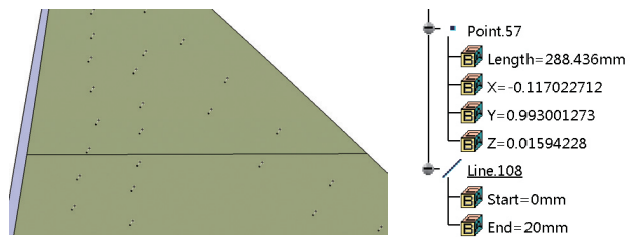


图1 飞机部件典型建模方式及树结构
Fig.1 Modeling method and structure tree of typical aircraft component

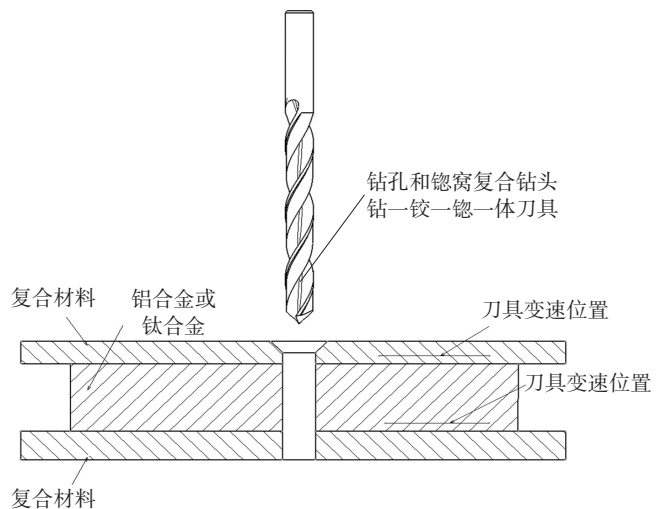


图2 叠层材料制孔
Fig.2 Drilling of laminated material

是在产品的几何模型中将所有相关的工艺描述信息、属性信息、管理信息按照模型的方式进行组织,改变了传统的以二维图纸为主、三维模型为辅的制造方法,是产品数字化定义的发展趋势^[10-12]。飞机产品的 MBD 模型存在准确性定义、规范化定义以及面向工艺的定义等特点,能够在设计阶段就考虑到比如装配的安装定义信息(如铆接、密封的定义等)等与制造相关的信息^[13-14]。因此本文结合特征与 MBD 技术,提出了基于模型定义的装配孔工艺特征。

基于模型定义的装配孔工艺特征是指根据飞机柔性装配中孔的结构特点和自动装配的工艺要求,对自动装配用到的各种几何信息和加工工艺信息进行抽象和数据定义,其中几何信息主要包括孔所在的蒙皮表面中心点的坐标和方向矢量,加工工艺信息主要包括孔所在位置的材质、孔径、铆钉类型等。基于模型定义的装配孔工艺特征以飞机部件的 MBD 模型为依据,结合特征技术,将各种信息添加到产品数模上,完成最终产品工艺模型的建立,并在后续离线编程系统中以该信息模型为数据源,自动识别和提取离线编程系统工艺规划所需要的几何信息和非几何信息,根据提取的信息进行自

动工艺决策、路径规划等,提高了离线编程系统的自动化程度。

2 装配孔工艺特征工艺模型的建立

考虑离线编程系统进行工艺规划过程中的信息需求,建立了面向飞机自动化装配用离线编程系统的产品的工艺特征信息模型,如图3所示。

产品的工艺特征信息模型包括产品设计模型、数控工序模型和装配工艺信息3个部分,将产品的工艺特征信息模型PM表示为:

$$PM = DM \cup \sum_i^k IPM_i \cup \sum_j^m A_j^{PM}, \quad (1)$$

其中,DM为设计部门发放的产品设计模型,是后续产品加工制造模型建立的唯一依据;IPM_i表示第i个数控工序模型,用于数控加工的辅助工艺设计,同时与产品的加工工序相对应,即工序MBD模型的个数由产品加工工序的个数决定^[15];A_j^{PM}表示产品工艺模型的装配工艺信息,装配工艺信息是指飞机自动化装配系统所需要的工艺规划信息和工艺设计信息。装配工艺信息一般不直接显示在三维模型上面,但是与具体三维特征关联且能够查询得到。

为了便于工艺规划,装配工艺信息主要包括制孔几何信息、工艺辅助信息和铆接辅助信息。因此,可以将装配工艺信息表示为:

$$A^{PM} = \sum_{i=1}^n G_i + \sum_{i=1}^n P_i + \sum_{i=1}^n R_i, \quad (2)$$

其中,G_i表示第i个孔的几何信息;P_i表示第i个孔的工艺辅助信息;R_i表示第i个待铆接孔的铆接辅助信息。

制孔几何信息主要包括待加工孔位中心点的坐标信息和待加工孔位的孔中心法向矢量信息两部分,可以表示为:

$$G = PC_i + N_i, \quad (3)$$

其中,PC_i表示第i个孔的中心点的坐标信息集合;N_i

表示第i个孔的孔中心的法向矢量信息集合。孔的坐标信息是孔在产品数模上的三维坐标,表示为:PC={X_i、Y_i、Z_i},其中X_i、Y_i、Z_i分别表示第i个孔中心的X、Y、Z坐标。孔中心法向矢量信息是孔中心的法向矢量在产品数模建模坐标系下的投影,可以表示为:N={X_{diri}、Y_{diri}、Z_{diri}},其中X_{diri}、Y_{diri}、Z_{diri}表示第i个孔的法向矢量。

工艺辅助信息即为孔加工信息,主要为飞机产品自动化装配系统提供与制孔工艺相关的信息。包括孔类型、待加工孔直径、孔深度、孔的铤窝信息以及孔所在位置产品的材料和厚度。因此,工艺辅助信息可以表示为:

$$P = T_i + Dia_i + Dep_i + Dim_i + Mat_i, \quad (4)$$

其中,T_i表示第i个孔的类型;Dia_i表示第i个孔的直径;Dep_i表示第i个孔的加工深度;Dim_i表示第i个孔的铤窝信息;Mat_i表示第i个孔所在位置产品的材料信息。

第i个孔的类型T_i∈TA,TA={Hole Rivet Other},其中TA表示孔类型的集合,Hole表示基准孔的集合,主要包括全局基准孔和局部基准孔;Rivet表示铆钉孔的集合,包括已有铆钉孔和临时铆钉孔两部分;Other表示所有待加工孔的集合。第i个孔的铤窝信息Dim={CAng_i,CDep_i},其中CAng_i表示第i个孔的铤窝角度;Dep_i表示第i个孔的铤窝深度。第i个孔所在位置产品的材料信息Mat_i={MatT_i, MatTic_i},其中MatT_i表示第i个孔所在位置产品的材料类型;MatTic_i表示第i个孔所在位置产品的材料厚度。

铆接辅助信息包括铆钉类型信息和是否涂胶两种功能。铆钉类型信息是飞机自动化装配系统在自动铆接过程中自动送钉系统筛选合适铆钉的依据,也是末端执行器在铆接之前进行二次确认的依据。涂胶功能主要是针对复材产品,复材产品主要采用抽铆进行装配,在抽铆之前需要对抽钉进行涂胶。综上,铆接辅助信息可以表示为:

$$R = \sum_{i=1}^n Riv_i + S_i, \quad (5)$$

其中,Riv_i表示第i个需要进行铆接的孔的铆钉类型;S_i表示第i个孔进行铆接之前是否需要对铆钉进行涂胶。铆钉类型 Riv_i=RivDia_i+RivLen_i,其中 RivDia_i表示第i个孔所需要的铆钉的直径;RivLen_i表示第i个孔所需要的铆钉的长度。S_i为一个判断信号,有true和false两个值,当S_i=true时,进行涂胶,反之则不进行涂胶。

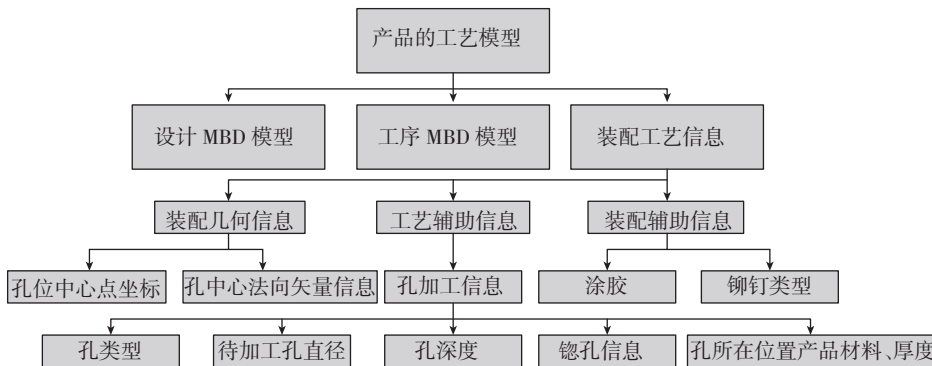


图3 产品的工艺特征信息模型

Fig.3 Information model of product processing features

3 装配孔工艺特征快速添加技术应用

如图 4 所示,将装配孔工艺特征以产品树结构的形式进行组织、显示,层次清晰,便于用户查询和使用。

3.1 软件设计流程

孔工艺特征添加软件采用 Automation 方式中的 VBA (Visual Basic for Application) 语言在 DELMIA V5 平台上进行二次开发。图 5 为软件设计流程,装配孔工艺特征的快速添加是一个大量重复的过程,软件通过知识工程模块和参数化设计技术建立模板文件,组织产品数据,特征信息用比较完整的面向对象的语言进行描述,并在特征造型中使用结构化的语言参数化的变动尺寸和特征^[16],通过良好的人机交互界面实现参数化设计与模板文件之间的数据交流,实现产品的工艺特征信息模型的建立。

3.2 装配孔工艺特征快速添加实例

运行装配孔工艺特征快速添加软件,进入人机界面,如图 6 所示。

操作人员根据实际情况以及工艺需求自行设置铆钉类型、孔类型、孔直径、孔深度、镗窝等相关信息,将产品工艺模型的装配工艺信息以交互式添加到工序 MBD 模型上,完成产品工艺模型的建立,实现 CAD、CAM 系

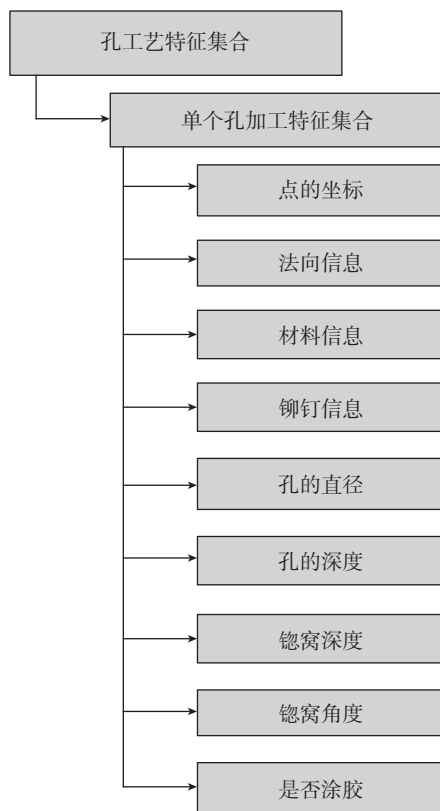


图4 装配孔工艺信息特征树

Fig.4 Tree of assembly hole processing features

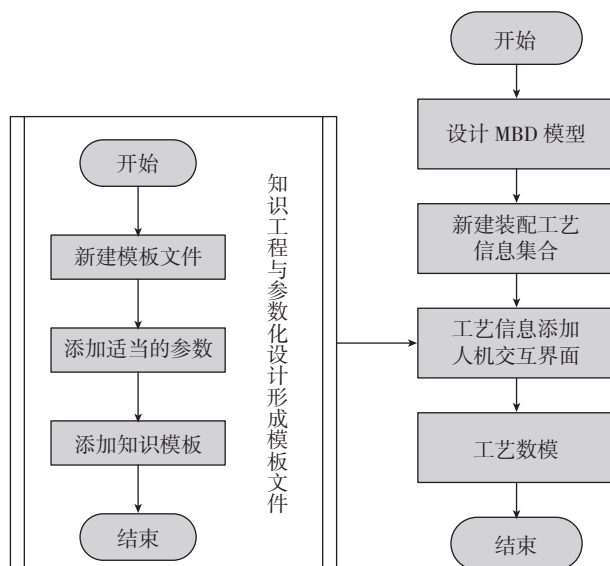


图5 软件框架图

Fig.5 Framework of software

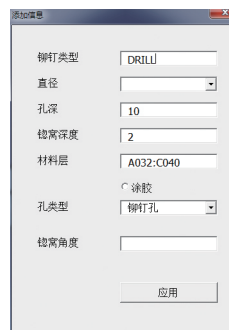


图6 装配孔工艺特征添加界面

Fig.6 Interface of adding assembly hole processing features

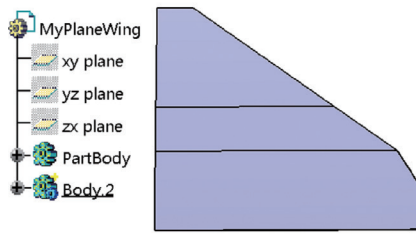
统数据源的统一。

工序 MBD 模型及树结构效果如图 7 (a) 所示,运行程序,程序自动将工艺人员需要的孔类型、孔直径、孔位置以及孔法向等信息以树特征集合的形式快速添加到产品数模以及树结构上,产品工艺模型的最终效果如图 7 (b) 所示。

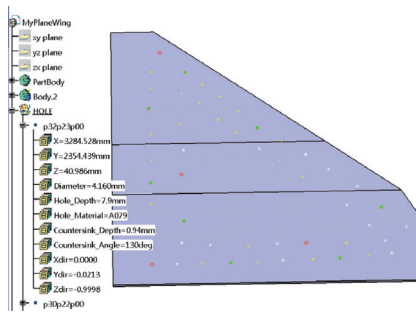
根据产品的加工需求不同,数模上孔位类型也多种多样。不同颜色的孔表示不同的孔位类型(根据数模的不同而不同),例如红色表示基准孔,绿色表示临时铆钉孔,黄色表示已有铆钉孔,白色表示待加工孔位等。孔位对应的装配信息不直接显示在三维模型上,但是与产品数模相关联。信息以产品树的形式进行添加,不仅能方便查看对应的加工信息和几何信息,而且给整个离线编程系统提供了良好的数据结构。

4 结论

针对飞机自动化装配离线编程系统数据来源问题,通过对现阶段飞机产品建模特点以及离线编程系统所



(a) 工序 MBD 模型及树结构效果



(b) 产品工艺模型及树结构效果

图7 程序运行前后数模效果

Fig.7 Digital model effect before and after program running

需的装配信息进行分析,提出了基于模型定义装配孔特征的概念和基于模型定义的飞机自动化装配孔工艺特征快速添加技术。

装配孔工艺特征模型的建立,深入剖析了装配孔工艺特征模型的结构形式,并通过 DELMIA V5 平台,利用基于知识工程的参数化设计方法,开发了装配孔工艺特征快速添加系统,为飞机自动化装配用离线编程系统提供了完整的产品定义模型,将 MBD 与特征技术相结合建立起的信息模型从根本上解决了传统 CAD/CAPP/CAM 系统中不同应用系统之间的信息脱节、信息重复、不一致性和改进后继系统发展的问題。

参考文献

[1] 郭思明. 国内外柔性装配技术[J]. 航空制造技术, 2005(9):28-32.
 GUO Enming. Development of plane flexible assembly technology overseas[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2005(9):28-32.
 [2] DEVLIEG R, SITTON K, FEIKERT E, et al. ONCE (One-sided cell end effector) robotic drilling system[C]//The Proceedings of the 2002 Aerospace Automated Fastening Conference and Exhibition, 2002.
 [3] HOGAN S, HARTMANN J, THAYER B, et al. Automated wing drilling system for the A380-GRAWDE[C]// The Proceedings of the Automated Fastening Conference and Exposition, Montreal, Canada, 2003.
 [4] 王黎明,冯潼能. 数字化自动钻铆技术在飞机制造中的应用[J]. 航空制造技术, 2008(11):42-45.
 WANG Liming, FENG Tongneng. Application of digital automatic drill-riveting technology in aircraft manufacture[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2008(11):42-45.
 [5] ANONYMOUS. Welding robot boots production rate[J]. Welding

Design and Fabrication, 2001,74(4):81-84.
 [6] 王巍,惠帅,梁涛,等. 柔性导轨自动制孔机器人离线编程与仿真技术研究[J]. 航空制造技术, 2012(S1):125-127,132.
 WANG Wei, HUI Shuai, LIANG Tao, et al. Study on off-line programming and simulation of flexible track automation drilling robot[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012(S1):125-127,132.
 [7] 张兴华,郑慧慧. 金属叠层材料层间毛刺形成的钻削实验研究[J]. 现代制造工程, 2011(10):79-82.
 ZHANG Xinghua, ZHENG Huihui. Experimental studies of process parameters for burrs in dry drilling of stacked metal materials[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2011(10):79-82.
 [8] RAMULU M, BRANSON T, KIM D. A study on the drilling of composite and titanium stacks[J]. Composite Structures, 2001, 54 (1): 67-77.
 [9] 葛晨,乔立红. 制造特征信息建模及其实例化方法[J]. 计算机集成制造系统, 2010,16(12):2570-2576.
 GE Chen, QIAO Lihong. Manufacturing feature information modeling and instantiation[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2010,16(12):2570-2576.
 [10] ALEMANNI M, DESTEFANIS F, VEZZETTI E. Model-based definition design in the product lifecycle management scenario[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011,52(1-4):1-14.
 [11] QUINTANA V, RIVEST L, PELLERIN R, et al. Will model-based definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle? a global perspective from aerospace industry[J]. Computers in Industry, 2010,61(5):497-508.
 [12] 靳江艳,黄翔,刘希平,等. 基于模型定义的飞机装配工艺信息建模[J]. 中国机械工程, 2014,25(5):569-576.
 JIN Jiangyan, HUANG Xiang, LIU Xiping, et al. Model-based definition assembly process information modeling for aircrafts[J]. China Mechanical Engineering, 2014,25(5):569-576.
 [13] 简建帮,洪建胜,李迎光. 基于 MBD 和特征的飞机结构件数控加工方法[J]. 机械科学与技术, 2011,30(5):756-760.
 JIAN Jianbang, HONG Jiansheng, LI Yingguang. A NC machining method for aircraft structural parts based on model based definition and feature[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2011,30(5):756-760.
 [14] 李立玉. 基于模型定义的飞机结构件数控编程技术研究[D]. 南昌:南昌航空大学, 2013.
 LI Liyu. Research on the NC programming of aircraft structural parts using model-based technology[D]. Nanchang: Nanchang Hangkong University, 2013.
 [15] 田富君,田锡天,耿俊浩,等. 基于模型定义的工艺信息建模及应用[J]. 计算机集成制造系统, 2012,18(5):913-919.
 TIAN Fujun, TIAN Xitian, GENG Junhao, et al. Process information modeling and application using model-based definition technology[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2012,18(5):913-919.
 [16] 徐延宁,孟祥旭,吕琳. 基于知识的参数化设计层次模型[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004,16(10):1430-1436.
 XU Yaning, MENG Xiangxu, LÜ Lin. Knowledge-based hierarchical model supporting parametric design[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2004,16(10):1430-1436.

(责编 古系)