

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2023.03.021

基于 MBD 技术的民机三维模型 长期保存格式研究

朱志赞* 许成伟 王木亮

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘要: 基于 MBD 技术的三维模型的数据传递、格式转换、长期保存、数据重用等是 MBD 技术的主要挑战之一, STEP 格式是应对挑战的首选格式和技术路径。目前, 各商业软件还未完全支持 STEP 格式所有性能。现阶段, STEP AP242 格式能够很好地转换并保存基于 MBD 技术的三维模型几何和标注集信息, 而非几何信息将部分丢失。采用基于 PDM 系统的非几何信息归档方式和基于三维模型本身的非几何信息归档方式能够对丢失的信息进行补偿, 基于 CATIA V5 二次开发技术开发了三维模型非几何信息提取工具, 并进行验证, 证明该技术方案应用于民机三维模型长期保存和利用的实际工作是可行的。

关键词: 档案管理; 长期保存; 基于模型的定义 (MBD); 三维模型; 非几何信息

中图分类号: V219; G273

文献标识码: A

OSID:



0 引言

飞机设计与制造历经“手工制图”“计算机辅助制图”“二维制图+三维辅助”阶段, 目前已进入全三维设计时代。基于模型的定义 (model based definition, 简称 MBD) 技术的民机三维模型包含了飞机设计和制造所需的所有信息, 相比于二维图纸等文件类型, 三维模型技术更加复杂, 软件依赖度更高。同时, 档案管理和民机适航规章要求采取必要措施保证三维模型类电子档案的真实性、可靠性、完整性和可用性。现阶段, 应用 STEP 格式进行三维模型数据交换和长期保存已成为行业广泛共识。但是, 各类软件对 STEP 格式的支持程度不同, 试验验证与工程实践表明^[1,14], 基于 MBD 技术的三维模型转换为 STEP 格式后, 将造成部分信息丢失。本文对基于 MBD 技术的三维模型的数据集进行分析, 确定转换过程中丢失的信息类型, 并采取针对性补偿措施, 对于三维模型的长期保存和利用具有重要的实践意义和应用价值。

1 基于 MBD 技术的三维模型

在当前的航空工业发展实践中, 基于 MBD 技术 (也被称为数字化产品定义技术^[2]) 已成为航空产品设计和制造的主要技术手段, MBD 技术采用单一的产品三维模型来完整表达和展示产品定义信息, 包含了产品尺寸、公差、工艺等信息, 成为航空产品设计、模拟分析、生产制造、试验验证、试飞、客户服务等过程中的唯一依据。使用 MBD 技术的产品零件模型如图 1 所示。中国商飞公司的 C919 大型客机项目在中国航空行业首次完全基于 MBD 技术及规范进行全三维民机产品设计, 实现了飞机研发过程中各专业间各类模型的快速转化和统一, 推动了异地联合设计快速、精准实施, 缩短了产品研制周期, 提高了产品质量。基于 MBD 的飞机设计与制造已成为航空工业赶超世界先进航空国家的重要技术手段^[3]。

1997 年, 美国机械工程师学会 (ASME) 开始进行数字化产品定义技术标准的研究和制定工作, 并于 2003 年发布了美国国家标准 ASME Y14.41-2003

* 通信作者. E-mail: zhuzhiyun@comac.cc

引用格式: 朱志赞, 许成伟, 王木亮. 基于 MBD 技术的民机三维模型长期保存格式研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2023(3): 137-146. ZHU Z Y, XU C W, WANG M L. The file format of long-term archiving of civil aircraft 3D models based on MBD technology[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2023(3): 137-146 (in Chinese).

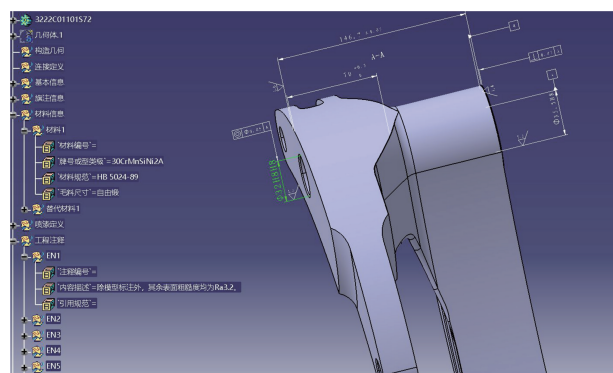


图 1 基于 MBD 技术的 CATIA V5 三维模型(零件)

《Digital product definition data practices》,MBD 技术开启了标准化规范化进程。2006 年,国际标准化组织(ISO)依据 Y14. 41 标准制定了 ISO 16792 标准,规定了全面的三维模型标注规范,数字化产品定义技术有了新的跨越式发展^[4]。随后,我国全国技术产品文件标准化技术委员会制定了 GB/T 24734 系列国家标准,开启了 MBD 技术在中国的标准化进程。MBD 技术的主要标准体系如表 1 所示。目前,CATIA、UG、Inventor、Creo 等各主流 CAD 软件都能较好地支持 MBD 技术,在航空航天、汽车、船舶等行业得到了大规模应用。

表 1 MBD 技术的主要标准体系

单 位	发布时间	标准名称及内容	备 注
美国机械工程师学会(ASME)	2003. 07. 07		第一版
	2012. 01. 17	ASME Y14. 41《Digital product definition data practices》	第二版
	2019. 03. 22		第三版
国际标准化组织(ISO)	2006. 12. 15		第一版
	2015. 12. 09	ISO 16792 《Technical product documentation——Digital product definition data practices》	第二版
	2021. 04		第三版
全国技术产品文件标准化技术委员会 (SAC /TC 146)	2009. 11. 30	GB/T 24734. 1~11《技术产品文件 数字化产品定义数据通则》,该系列标准包括数据集要求、设计模型要求、几何建模特征规范、注释要求等 11 部分组成	根据 ISO 16792:2006 外标内化编制
	2011. 01. 10	GB/T 26099. 1~4《机械产品三维建模通用规则》,该系列标准包括通用要求、零件建模、装配建模、模型投影工程图等 4 部分组成	
	2011. 01. 10	GB/T 26100《机械产品数字样机通用要求》	
	2011. 01. 10	GB/T 26101《机械产品虚拟装配通用技术要求》	
全国航空器标准化技术委员会 (SAC/TC 435)	2018. 06. 07	GB/T 36252《基于模型的航空装备研制 数字化产品定义准则》	
国家国防科技工业局	2016. 01. 19	HB20280~20301《基于模型的定义》系列标准 22 份,该系列标准规定了航空产品基于模型定义的数据集、设计模型、标注和属性要求,包括机加件、铸件、锻件、钣金件、管路件、线束、复合材料、标准件、装配件、发动机等航空产品类型	航空行业标准

基于MBD技术的三维模型的数据集提供完整的产品信息,集成了以前分散在三维模型与二维工程图中的所有设计与制造信息^[5],数据集主要包括2类信息,即几何信息和非几何信息^[6]。几何信息包括坐标系、零件或装配件实体几何模型及其辅助

几何元素,几何信息通过点、线、环、面、体等参数化的几何元素进行展示和表达,如图1右侧部分所示;非几何信息是零件或装配件在加工制造、检验、装配等过程中所需要的信息,主要包括几何尺寸和公差(GD&T)、基本信息、工程注释、材料信息及其他

定义信息,如图 1 左侧部分所示。非几何信息为格式化的符号或语义信息,可根据项目需要进行自定

义组织和管理。MBD 数据集主要类别与说明如表 2 所示^[7]。

表 2 MBD 数据集的分类与说明

类 别	名 称	中文名称	适用范围	说 明
几何信息	Coordinate System	坐标系	必需	在空间内建立参照系
	Part Body	几何模型	必需	展示零部件的理论几何结构、特征
	External Reference	外部参考	可选	建模时引用的其他模型几何元素,是模型的约束条件
	Construction Geometry	构造几何	可选	建模时使用的参照点、线、面等几何元素
非几何信息	Annotation Set	标注集	可选	管理零部件制造、检验所需要的基准、几何尺寸和公差 (GD&T)、表面结构要求、注释等信息
	Basic Information	基本信息	必选	零部件名称、编号、属性、版权声明、更改记录、规范等管理信息
	Engineering Notes	工程注释	必选	说明整个零部件的制造工艺通用要求,包括基本公差、零件最终处理和引用标准等
	Annotation Notes	标注说明	可选	描述特定结构特征的加工细节要求,与标注集配合使用
	Material Description	材料信息	必选	定义零件的材料要求
	Assembly Definition	装配定义	装配件必选	定义装配件的连接方式及要求,如铆接、焊接、粘接、紧固件、密封、润滑、加垫等

2 基于 MBD 技术的三维模型长期保存格式

基于 MBD 技术的三维模型成为航空产品全生命周期内唯一的依据,需要保存至航空产品完全退役。但是,三维设计软件代际迭代周期一般为 10 年左右,而每 6~12 个月将有版本更新^[8]。三维模型的长期保存和利用要求与电子文件的脆弱性矛盾突出,使其成为 MBD 技术发展的主要挑战之一^[9]。1998 年,美国联邦航空管理局 (FAA) 要求波音公司和美国航空航天工业协会 (AIA) 合作制定一部标准以规范三维产品定义数据的存储、保管和检索利用。2003 年 9 月, AIA 工作组发布了 ARP 9034《A process standard for the storage, retrieval and use of three-dimensional type design data》,规范了三维型号设计数据长期保存和利用的流程和要求。在 2002 年的国际航空航天质量集团 (IAQG) 会议上,波音公司和空客公司被要求和欧洲 LOTAR 组织合作制定一套能够适用整个航空工

业三维数字化产品定义数据存储、保管和检索利用的标准^[10]。目前, LOTAR 组织已经发布了 EN / NAS 9300 系列标准 18 部,该标准以开放档案信息系统 (ISO 14721/OAIS) 参考模型和产品模型数据交换标准 (ISO 10303/STEP) 为基础,涵盖了不同类型的三维数字化产品定义文件类型,已在波音公司、空客公司成功验证与实践。 LOTAR 是国际航空工业界关于三维模型长期保存和利用最重要、参与者最广泛的合作项目。

2.1 三维模型长期保存的格式选择

EN/NAS 9300 系列标准建议使用基于开放标准的存档格式,首选 STEP 格式^[11]。STEP 格式是由 ISO 10303 系列标准定义的一种三维模型中性交换格式,它不依赖于特定的软件、平台与环境,得到大部分三维软件厂商的支持,广泛应用于不同设计软件、产业链上下游厂商之间的产品信息数据交换和传递。STEP 格式也是我国 GB/T 18894-2016《电子文件归档与电子档案管理规范》、DA/T 88-2021《产品数据管理 (PDM) 系统电子文件归档与电子档

案管理规范》中关于科技类三维矢量文件的推荐性存档格式。

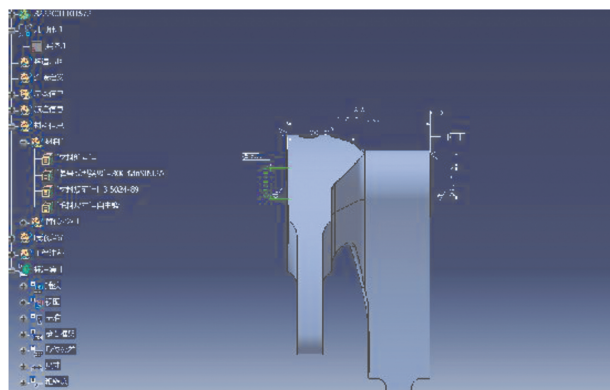
ISO 10303 系列标准是一个庞大的标准体系,由描述方法、实现方法、一致性测试方法与框架、集成资源、应用协议、抽象测试套件、应用解释构造和应用模块等部分构成。应用协议(application protocol,简称 AP)的目的是使用统一的概念描述产品信息模型的框架和范围,产品信息模型涵盖所有产品类型和产品生命周期各阶段。目前,共有 24 份现行有效 AP,涵盖电子、汽车、船舶等行业,其最主要的现实应用在于三维模型之间的信息交换。三维设计软件支持不同的 AP,而不同 AP 的数据描述能力并不相同,在汽车、航空航天等机械设计领域,最常用的是 AP203、AP214、AP242。STEP AP203 格式不能描述颜色、图层等信息,已被 AP242 代替;STEP AP214 不支持语义 GD&T、电子电气设计等信息。2010 年发展的 AP242 兼容 AP203 和 AP214 以及其他机械设计类 AP,成为目前最重要的 AP,其最新版本为 ed2,已支持语义 GD&T、复合材料、电子线束、管道等新特征。我国 GB/T 36248-2018《基于模型的航空装备研制 数据交换》建议产品数据间接交换时优先采用 STEP AP242 格式。因此,AP242 也是三维模型长期保存的优先格式选择。

2.2 三维模型 STEP 格式转换过程

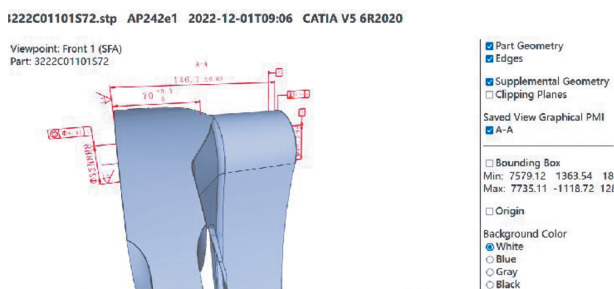
三维模型由源格式转换为 STEP 格式有两种方式。一种为直接转换,通过三维设计软件的集成数据接口直接导出为 STEP 格式,例如:CATIA V5-6R2020 可以在“选项-兼容性-STEP-导出-应用协议(AP)”选项中选择 242,即可将 CATIA 源文件直接“另存为”STEP AP242 格式文件。另外一种方式为间接转换,使用专用转换软件工具导入源格式并输出为 STEP 格式,例如 3D_Evolution、CrossCAD、3DxSUITE、K-Display、HOOPS Exchange 等软件工具。

源格式转换为 STEP 格式后,需要进行数据质量检查和验证,以确保 MBD 数据集转换前和转换后质量一致。STEP 标准具有保存三维模型构造历史、参数、约束等能力,但是目前商业软件普遍对这些特性支持度不够^[12]。不同的软件工具对 STEP 标准的支持程度不同^[13],使用时需要实际验证。基于 CATIA V5 系列软件,对 STEP AP242 保存三维模型信息能力的评估测试表明,CATIA 源格式转换为 STEP 格式

后,三维模型的几何信息和标注集信息保存完整,而三维模型的构造历史、属性、参数、自定义参数等非几何信息丢失^[14],如图 2 所示,图中 STEP 格式由美国国家标准与技术研究院(NIST)的 STEP File Analyzer and Viewer 软件打开。STEP 格式文件作为存档文件具有档案的证据和参考价值,基本满足电子档案的真实性、完整性、安全性和可用性要求,虽然造成部分信息丢失,但是这是在现实技术无法完全满足需求的情况下不得不做出的妥协^[15]。



(a) 源格式



(b) STEP 格式

图 2 三维模型的 CATIA 源格式和 STEP 格式对比

2.3 基于 CATIA V5 的三维模型的非几何信息转换

基于 MBD 技术的三维模型在转换为 STEP 格式过程中,将造成部分非几何信息丢失^[13]。下文基于 CATIA V5 软件的 MBD 三维模型进行分析和说明。

2.3.1 非几何信息的标注集信息

三维模型非几何信息中的标注集主要包括基准、几何尺寸和公差(GD&T)、表面结构要求、焊接、文字注解等信息,这些标注信息由格式化符号、引导线以及数值或文本组成,并与三维模型的特定几何元素相关联,是对三维模型特定特征的说明。三

维标注在几何建模过程中直接进行添加操作,CATIA V5 设计软件中使用 Functional Tolerancing & Annotation 模块进行操作,并存放在结构树中的“标注集”下分类管理。三维标注可以是语义类信息,也可以是图形信息,能够通过不同视图在标注平面中展示,也可以与模型一起通过旋转、缩放在三维空间展示。三维标注的标准化程度较高,其在二维标注平面中进行添加,在三维空间中展示。标注所用的符号、定义、表示法等采用已有的成熟二维图纸标准,由 ASME Y14. 5、ASME Y14. 36、ISO 1101、GB/T 131、GB/T 1182 等标准体系进行规范;标注在三维空间中的放置、显示、关联性和辅助几何表达等标注规则在 MBD 技术的主要标准体系中进行规范^[16],如表 1 所述。规范标注的三维模型标注集转换为 STEP AP242 格式后丢失信息量极少,能够表达原始设计意图,具有较强的证据和参考价值。

2.3.2 非几何信息的文本信息

基于 MBD 技术的三维模型的基本信息、工程注释、材料信息、标注说明、装配定义等其他非几何信息通常以“注释”或“属性”的文本型参数值形式保存在三维模型中^[17]。其中,全局注释是对整个模型的说明,例如文件名称、版本号、责任者、零件加工方式、装配方式、材料、表面处理等文本类型信息,局部注释则是对模型区域或模型特定元素的指示说明,例如旗注。局部注释利用符号和零件元素建立关联,而具体内容则在“注释”中以文本形式表达。在 CATIA V5 参数化设计环境下,这些“注释”和“属性”以自定义参数的形式存放在结构树中,并用几何图形集的形式进行分类分级存储和管理^[18]。其实质是使用 CATIA 的 Formula 公式功能插入“新类型参数”,使用“参数名称”存储非几何信息的类型名称,“参数值”存储具体的非几何信息文本内容,如图 1 左侧所示。

基于 MBD 技术的三维模型非几何信息的注释有两种生成方式。一种是在几何模型构建过程中,设计师手动编辑和添加。第二种是开发 MBD 集成管理工具,将工程注释、材料、规范、标准件等结构化信息存储在数据库中,通过集成管理工具进行选择、编辑,并完成对三维数模的自动化赋值操作,如图 3 所示^[19]。

非几何信息中的基本信息、工程注释、材料信息、装配定义等信息是 MBD 数据集的必选项,对于

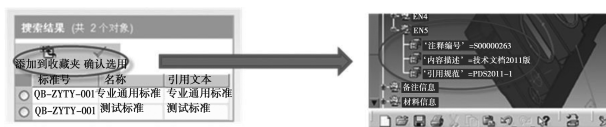


图3 基于CATIA V5的MBD集成管理工具向模型赋值

产品设计、制造、检测必不可少。当三维模型源格式转换为 STEP 格式后,这一部分信息将会丢失,应采取适当的补偿措施,尽可能保证长期保存模型数据的完整性^[13-14,20]。

3 基于MBD技术的三维模型非几何信息的归档方式

基于 MBD 技术的应用系统是以 MBD 数据集为核心,并辅以产品数据管理(PDM)系统、三维设计软件系统、MBD 集成管理系统、数据同步系统、工艺设计和分析系统等应用有机集成,完成从产品定义、制造到检验的全流程三维化^[6]。根据三维模型非几何信息的生成和流转方式,可以设计基于 PDM 系统或基于三维模型自身的两种非几何信息归档方式。

3.1 基于PDM系统的非几何信息归档

PDM 系统是项目型号所有产品数据的单一来源,经过三维设计软件系统生成的三维数模需要通过 PDM 系统进行签审、会签、批准并分发、发放,只有正式批准的数模才具有工程价值。三维模型的非几何信息(文本类注释信息)通过 MBD 集成管理工具同时赋值到三维模型和 PDM 系统内,并保持两者信息的一致性。此种方法必须在 MBD 集成管理工具中进行非几何信息的添加、更新、删除等操作,而不能直接在三维设计软件系统中进行修改^[6,21]。

PDM 系统能够自动生成零件细目表、装配件细目表、装配连接细目表和物料清单等报表。细目表是格式化的 PDF 文档,如图 4 所示,记录零件、装配件的基本信息、材料信息、工程注释、标注说明等非几何信息。PDM 系统通过归档接口与档案系统建立连接,归档时向档案系统传递归档三维模型的元数据及细目表,同时,三维模型转换为 STEP 格式,向档案系统传递 STEP 格式归档文件,整个归档流程如图 5 所示。

细目表可以一定程度弥补三维模型格式转换后非几何信息丢失的问题,将 STEP AP242 格式三维数模与细目表一同长期保存与提供利用。通过 PDM

零件细目表		编 号	DPL3222C01101S72	
		名 称	摇臂	
		版 本	B	第1页 共1页
版本	更改原因	主要更改内容		日期
B	Y-优化设计	将3222C01101S72 零件孔 ϕ 32H8 更改为孔 ϕ 35.5H8。		180704
A				141010
基本信息				
零件类型	机加件			
重量	13.852378kg			
关重件类型	一般件			
对称件	非对称件			
审签状态	已发布			
材料信息				
材料1	材料编号			
	牌号或型类级	30CrMnSiNi2A		
	材料规范	H B 5024-89		
	毛料尺寸	自由锻		
工程注释				
工程注释	EN1=除模型标注外，其余表面粗糙度均为Ra3.2。 EN2=一般公差按HB5800-1999。 EN3=锐边倒圆R0.2--0.3。 EN4=高强度钢加工按Q/11AJ05-4.804-2010。 EN5=热处理按Q/11AJ05-5.00-10-2007，Ⅲ类检验， $\sigma_b=1670\pm 100\text{MPa}$ 。 EN6=除配合表面外，其余表面按Q/11AJ05-9.26-1-2008磷化。 EN7=酸蚀检查按Q/11AJ05-4.715-2010。 EN8=磁粉检验按Q/11AJ05-4.704-2011。 EN9=标记做在标签上。			
版权声明 本文件含有本公司的商业秘密，未经本公司批准，不可将本文件或其中部分复印或引用到其他文件中，用于制造或其他目的。				

图 4 零件细目表示例

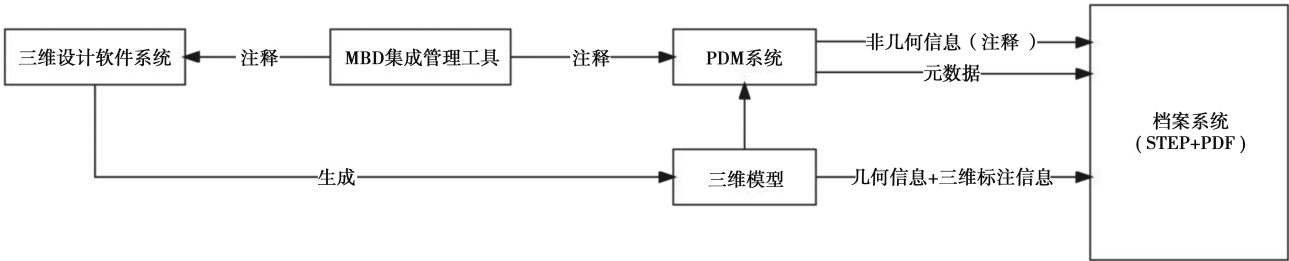


图 5 基于 PDM 系统的三维模型归档方式

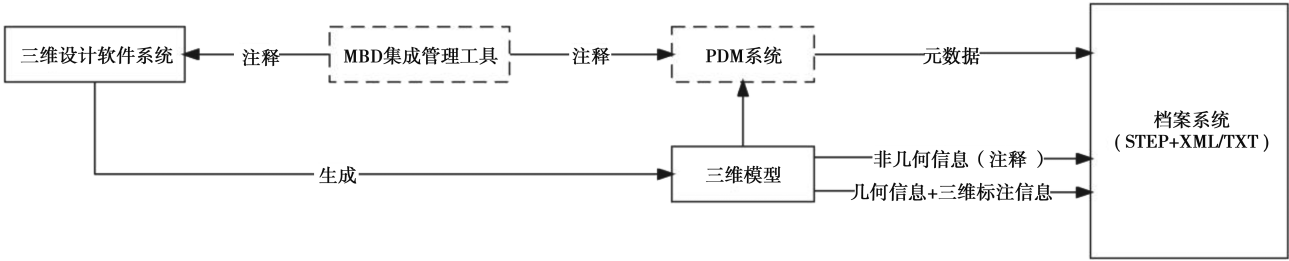


图 6 基于三维模型的归档方式

系统进行非几何信息长期保存需要功能完善的数据管理体系,经费投入较大。另一方面,PDM 系统和基于 MBD 的三维模型之间的数据必须保持一致,存在一定程度的数据重复问题。

3.2 基于三维模型的非几何信息归档

基于 MBD 技术的本质和初衷是使用三维模型表达产品设计和制造所需的所有信息,不依赖二维

图纸及其他文件的配合。因此,可以通过对三维设计软件或专用转换软件的功能开发,实现在 STEP 格式转换的同时进行非几何信息的导出,并将非几何信息存储为符合长期保存要求的文件格式,例如 TXT 或 XML 格式文件,并与存储几何信息和标注集信息的 STEP 格式文件一同长期保存与提供利用,如图 6 所示。

实现基于MBD技术的三维模型非几何信息的提取,可以真正实现以三维模型为唯一依据,而无需参与三维模型初期的构建过程和数据管理过程,档案部门只在归档环节涉入三维模型管理。对于没有完善的PDM系统的企业,基于三维模型的长期归档方式是不得不选择的方式;对于具有PDM系统的企业,实现基于三维模型的非几何信息提取并归档也是可行的。

4 基于CATIA V5的三维模型非几何信息提取工具开发

当前,航空工业三维设计软件普遍采用法国达索公司的CATIA V5软件,产品数据管理平台则多采用PTC公司的Windchill平台。因此,开发基于CATIA V5的三维模型非几何信息提取工具具有相当的现实意义。

4.1 CATIA V5的二次开发技术

CATIA V5软件提供了两种编程API以允许用户扩展软件功能,一种称为CATIA CAA技术,一种称为CATIA Automation技术^[22]。

CAA技术通过CATIA快速集成开发环境(RADE)模块进行程序编制,在CATIA运行时加载C++函数库。RADE能够实现与CATIA低层次的程序接口通信,从而控制CATIA实现高级功能开发。RADE功能强大,开发组件与CATIA系统结合紧密,但是CAA技术入门困难,需要具有良好的编程基础。

CATIA Automation采用组件对象模型(component object model,简称COM)技术把相关模块接口封装在独立的组件内,采用结构化、模块化、面向对象的可视化程序设计语言Visual Basic 6.0(简称VB)对CATIA进行二次开发。在CATIA Automation中,所有的数据都被封装成对象的形式,并形成树形结构。CATIA宏脚本采用VBScript语言编写代码,提供一种记录、再次执行相同操作的方法。CATIA宏脚本开发方式灵活、入门简单,一套源码支持多个CATIA版本,并能够将脚本程序集成到CATIA工具条中,从而实现CATIA的功能扩展。

本文采用CATIA Automation技术开发CATIA宏脚本的三维模型非几何信息提取工具。

4.2 基于CATIA Automation技术的宏脚本流程设计

在CATIA Automation中,所有的几何特征、坐标系、参数、文档、窗体等都有对应的对象。通过根对象Application可以访问所有其他对象,每一个对象都有其自己的操纵集合的方法和属性,如添加(Add)、删除(Remove)、获取子项(Item)和数量(Count)等操作。

导出三维模型非几何信息的基本流程如下:在CATIA中打开三维模型,首先通过脚本程序自动判断当前模型的类型,然后获取模型的Parameters属性,在当前模型的文件夹内自动创建以模型名字命名的文件,最后遍历Parameters属性并将其属性名字和属性值逐行写进刚创建的文件内。其数据流程图如图7所示。

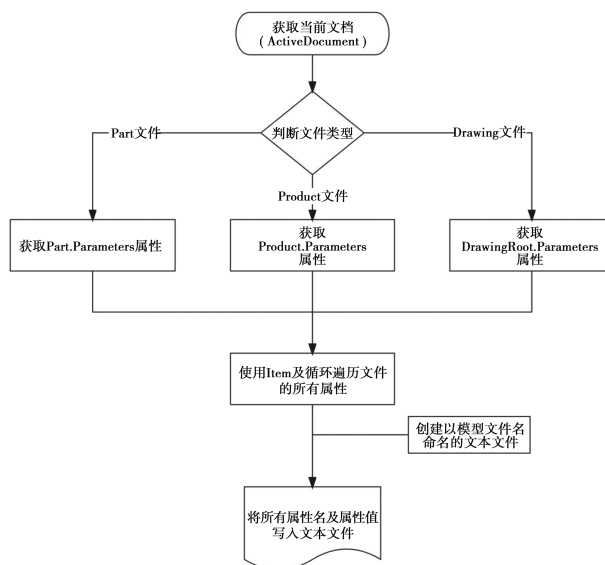


图7 导出三维模型非几何信息的数据流程图

4.3 基于CATIA Automation技术的宏脚本代码与设置

在CATIA软件中,点击“工具”菜单,下拉列表选择“宏”,并点击“宏...”。在宏对话框右侧点击“创建...”按钮,在创建新宏对话框中选择“MS VBScript”宏语言,并对新创建的宏设置名称。

在宏对话框,选择新建的宏,并点击“编辑...”按钮,进入代码编辑页面。输入以下代码。

```
Sub CATMain()  
Set oParts = CATIA.ActiveDocument
```

```

Filetype = TypeName( oParts )
Select Case Filetype
    Case " PartDocument"
        Set oPart = oParts. Part
    Case " ProductDocument"
        Set oPart = oParts. Product
    Case " DrawingDocument"
        Set oPart = oParts. DrawingRoot
    Case Else
        MsgBox "The File Is Not CATIA File"
    End Select

Set oParameters = oPart. Parameters
Set fso = CreateObject( " Scripting. FileSystemObject" )

Set txtFile = fso. CreateTextFile ( oParts.
FullName & ". txt" )

Msgbox oParts. Name & " Has " & oParameters. Count
& " Parameters"

txtFile. WriteLine ( oParts. Name & " Has " &
oParameters. Count & " Parameters" )

For i = 1 to oParameters. Count
    txtFile. WriteLine ( oParameters. Item ( i ).
Name & " : " & oParameters. Item ( i ). ValueAsString )
Next
End Sub

```

该段宏代码实现了显示该 CATIA 三维模型具有的参数总数并在 CATIA 模型所在文件夹内生成一个记录所有参数名及参数值的文本文件,该文本文件以 CATIA 模型名字命名,第一行说明该模型文件具有的参数值数量。

在宏对话框中,选择相应的宏名称,点击右侧“运行”按钮,即可实现该宏代码功能。CATIA 工具条是具有特定功能的图标按钮的集合,一般附着或浮动在用户窗口周围。用户可以通过工具条自定义设置,将宏命令设置到工具条中,方便使用^[23]。

5 基于 CATIA V5 的三维模型非几何信息提取工具验证

基于 CATIA Automation 技术的三维模型非几何信息提取工具开发并设置完成后,打开试验三维模型,运行宏脚本工具,该二次开发功能能够将 CATIA 模型数据集的非几何信息全部导出并保存为文本

文件,见图 8 所示。

3222C01101S72 基本信息名称:摇臂
3222C01101S72 基本信息零件类型:机加件
3222C01101S72 基本信息零件信息:非对称件
3222C01101S72 基本信息零件类型:一般件
3222C01101S72 基本信息版权说明:本数据包含本公司商业秘密,未经授权不得复制、传播以及用于制造等其他一切目的
3222C01101S72 基本信息更改说明:将 3222C01101A72 零件孔 Φ32H8 更改为孔 35.5H8。
3222C01101S72 基本信息更改原因代码:γ-优化设计
3222C01101S72 属性信息 UEL1 注释编号:
3222C01101S72 属性信息 UEL1 内容描述:
3222C01101S72 属性信息 UEL1 用规范:
3222C01101S72 材料信息材料 1 材料编号:
3222C01101S72 材料信息材料 1 牌号或型类:30crMnSi2A
3222C01101S72 材料信息材料 1 材料规范:GB 5024-89
3222C01101S72 材料信息材料 1 材料尺寸:10mm
3222C01101S72 材料信息替代材料 1 材料编号:
3222C01101S72 材料信息替代材料 1 牌号或型类:
3222C01101S72 材料信息替代材料 1 材料规范:
3222C01101S72 材料信息替代材料 1 材料尺寸:
3222C01101S72 材料信息替代材料 1 替代条件:
3222C01101S72 喷漆定义喷漆定义 1 喷漆说明:
3222C01101S72 喷漆定义喷漆定义 1 喷漆颜色:
3222C01101S72 喷漆定义喷漆定义 1 相关属性:
3222C01101S72 喷漆定义喷漆定义 1 喷漆材料:
3222C01101S72 工程注释 EN1 注释编号:
3222C01101S72 工程注释 EN1 内容描述:除模型标注外,其余表面粗糙度均为 Ra3.2。
3222C01101S72 工程注释 EN1 用规范:
3222C01101S72 工程注释 EN2 注释编号:
3222C01101S72 工程注释 EN2 内容描述:公差按 GB5800-1999。
3222C01101S72 工程注释 EN2 用规范:
3222C01101S72 工程注释 EN3 注释编号:
3222C01101S72 工程注释 EN3 内容描述:锐边倒圆 R0.2-0.3。
3222C01101S72 工程注释 EN3 用规范:
3222C01101S72 工程注释 EN4 注释编号:
3222C01101S72 工程注释 EN4 内容描述:高强度钢加工按 Q/11AJ05-4.804-2010。
3222C01101S72 工程注释 EN4 用规范:
3222C01101S72 工程注释 UN5 注释编号:

图 8 基于 CATIA V5 的三维模型非几何信息提取结果

该 CATIA 模型的基本信息、材料信息、工程注释等信息以结构树形式保存在模型数据集内,如图 1 左侧所示,基于 PDM 系统的非几何信息归档方式的零件细目表如图 4 所示,而本文基于 CATIA V5 的三维模型非几何信息提取工具所保存的非几何信息如图 8 所示,三者信息能够保持一致,证明该工具功能可行,提取数据有效。该文本文件保存了 CATIA 源格式的所有参数信息,以 CATIA 结构树中的先后顺序依次存储,包括零件几何体、构造几何中的构造历史参数也可以保存,各参数名字以结构树中的各节点名称和反斜杠进行区隔命名,参数值与参数名以冒号进行区隔。该文本文件的最后几行是零件属性信息,包括零件编号、版次、定义、术语、描述以及版本、设计者等属性,也属于三维模型非几何信息的一部分。

6 结论

美国、欧洲等民航适航部门要求飞机主制造商或航空部件制造商在申请型号合格证(TC)、补充型号合格证(STC)、零部件批准书(PMA)、技术标准规定批准书(TSOA)或大修、大改过程中,需要向局方表明如何保证三维模型数据能够像纸质资料一样满足各项业务需求^[24],使基于 MBD 技术的三维模型长期保存和利用成为民航适航符合性的一部分。本文通过对三维模型长期保存格式的深入研究,得出以下结论。

1) STEP 格式作为三维数模长期保存的首选格式,目前各商业软件还未完全支持其全部性能。现阶段,STEP AP242 格式能够很好地转换并保存基于 MBD 技术的三维模型几何和标注集信息,而非

几何信息将造成部分丢失,采用相应的补偿措施将三维数模的非几何信息导出并保存具有重要的实践意义。

2) 根据三维模型非几何信息的管理模式不同形成了基于PDM系统的非几何信息归档方式和基于三维模型本身的非几何信息归档方式,两种归档方式均能满足非几何信息的长期保存要求。

3) 基于CATIA V5二次开发技术实现的三维模型非几何信息提取工具,通过试验验证,结果表明该提取工具可以应用于三维模型长期保存和利用的实际工作,是在相关技术、产品未完全成熟时,能够满足档案管理和适航规章要求的可行补偿措施。

参考文献:

- [1] 航空工业档案馆,金航数码科技有限公司. 航空工业三维数据归档研究报告[R/OL]. (2017-12-25) [2022-12-07]. <https://www.saac.gov.cn/daj/kjcggt/202012/f9bd4b80b18249a59610044210c5651d/files/0747cf670cd14d9e8b8d0f2df73ee348.pdf>.
- [2] 潘康华,陆江峰,邵兰英. MBD技术的发展历程与展望[J]. 机械工业标准化与质量,2013(2):15-17.
- [3] 崔德刚,刘看旺,郑党党,等. 基于MBD的飞机设计与制造技术研究与应用[J]. 计算机集成制造系统,2019,25(12):3052-3060.
- [4] 陈帝江,张红旗,肖承翔. 数字化设计与制造重点基础国家标准研究[J]. 标准科学,2015(12):91-95.
- [5] 范玉青. 基于模型定义技术及其实施[J]. 航空制造技术,2012(6):42-47.
- [6] 巫鹏伟,卢鸽,于勇,等. 工程师的新语言——基于模型的定义[J]. 航空制造技术,2010(21):68-71.
- [7] 冯国成,梁艳,于勇,等. 基于模型定义的数据组织与系统实现[J]. 航空制造技术,2011(9):62-66;72.
- [8] DELAUNAY J-Y. Overview of EN 9300 LOTAR standards for long term archiving and retrieval of digital technical product information[EB/OL]. (2018-05-17) [2022-11-24]. <https://download.afnet.fr/ASD2018/ASD2018-6B-JeanYvesDelaunay-Airbus.pdf>.
- [9] 张岩涛,夏晓理,李学常,等. 基于模型的数字化产品定义对标准化的新思考[J]. 机械工业标准化与质量,2016(4):36-40.
- [10] LOTAR. LOTAR activities, interoperability framework and overall consistency between Work Groups[EB/OL]. (2012-05-21) [2022-11-24]. https://lotar-international.org/wp-content/uploads/2020/05/LOTAR_CIC_May_2012_V1.pdf.
- [11] 欧洲航空航天和国防工业标准化协会(ASD-STAN). Aerospace series—LOTAR—Long term archiving and retrieval of digital technical product documentation such as 3D, CAD and PDM data Part 003: Fundamentals and concepts; EN 9300-003; 2012[S/OL]. (2012-12-01) [2022-11-25]. <https://asd-stan.org/downloads/bs-en-9300-0032012/>.
- [12] SCHÄTZLE J. Evaluate how the STEP standard AP 242 could enable knowledge transfer between CAD and KBE environments[D]. Trondheim, Norway: Norwegian University of Science And Technology, 2016.
- [13] KRIZAJ D, VUKASINOVIC N. Analysis of implementation of MBD and STEP AP242 standard into modern CAD tools[J]. Research and Science Today, 2019(增刊1):70-80.
- [14] 朱志赞. STEP作为存档格式保存三维模型信息能力评估[J]. 兰台世界, 2019(10):106-109.
- [15] 高闯,柳林集. 合规与妥协:空客德国产品数据归档的现状及其启示[J]. 档案学研究, 2021(2):119-124.
- [16] 程五四,陈帝江,张红旗. MBD技术标准化及应用研究[J]. CAD/CAM与制造业信息化, 2013(9):14-16.
- [17] 程五四,张红旗. MBD环境下机械产品数据组织方法研究[J]. 机械与电子, 2014(11):30-33.
- [18] 全国航空器标准化技术委员会. 基于模型的航空装备研制数字化产品定义准备: GB/T 36252—2018[S/OL]. (2018-06-07) [2022-11-24]. <http://c.gb688.cn/bzgk/gb/showGb?type=online&heno=02D7445D41EBFA484A5CA323A6C60072>.
- [19] 任启振,葛建兵,陈才. MBD数据集的数字化定义[J]. 航空科学技术, 2012(5):63-65.
- [20] 梅敬成,李建勋,杨欣. CAD数据转换技术在归档方面的研究与应用[J]. 智能制造, 2019(9):57-61.
- [21] 曲直,田宪伟,李春威. MBD技术在飞机设计中的应用[J]. 航空制造技术, 2013(13):103-106.
- [22] 周桂生,陆文龙. CATIA二次开发技术研究与应用[J]. 机械设计与制造, 2010(1):81-83.
- [23] DOCKER_IRS. CATIA VBA二次开发入门与提高[EB/OL]. (2016-06-24) [2020-11-18]. <https://blog.csdn.net/dockervba>.
- [24] FAA. Using electronic modeling systems as primary type design data: AC 21-48[EB/OL]. (2010-10-29) [2022-12-06]. <https://drs.faa.gov/search?modalOpened=true>.

作者简介

朱志赞 男,硕士,工程师。主要研究方向:三维模型长期保

存、信息资源开发、科技情报研究。E-mail: zhuzhiyun@comac.cc

许成伟 男, 硕士, 研究员。主要研究方向: 信息技术、企业数字化转型、知识管理、科技情报研究。E-mail: xuchengwei@

comac.cc

王木亮 男, 硕士, 研究员。主要研究方向: 产品数据管理、三维模型长期保存、档案管理。E-mail: wangmuliang@

comac.cc

The file format of long-term archiving of civil aircraft 3D models based on MBD technology

ZHU Zhiyun * XU Chengwei WANG Muliang

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

Abstract: Data transfer, format conversion, long-term archiving, and data reuse of 3D models based on MBD technology is one of the main challenges of MBD technology, and STEP is the preferred file format and technical path to meet the challenges. At present, various commercial 3D application software does not fully support all the properties of STEP format. At this stage, the STEP AP242 format is able to convert and preserve the 3D model geometry and annotation set information fully and accurately, while the non-geometric information will be partially lost. There are two methods to compensate for the lost non-geometric information, based on the PDM system and based on the 3D model itself. The 3D model non-geometric information extraction tool was developed based on CATIA V5 customization development platform and verified to prove that the technical solution is feasible to be applied to the practical work of long-term archiving and usage of the 3D model of civil aircraft.

Keywords: archive management; long-term archiving; model-based definition (MBD); 3D model; non-geometric information

* Corresponding author. E-mail: zhuzhiyun@comac.cc