

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.09.049

数字模型全息标识体系与辅助标识方法研究

刘宏新 贾 儒 郭丽峰 王登宇
(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 针对机械装备数字模型的标准化构建,提出了基于物元的数字模型全息标识体系,并给出辅助标识方法。以精密播种装备为研究对象,研究其拓扑层次,分析零件的基本信息和装配信息,明确基本物元和装配物元组成,制定物元的语义信息编码和标识规则,并完成装配参考元素的创建,完成数字模型全息标识体系的构建。为实现高效、智能的标识,研究数字模型标识的辅助标识方法,设计了一种适用于全息标识体系的人机交互平台,可实现对装配信息的快速提取与解读,将装配相关信息转化为物元编码,并自动标识,完成智能引导辅助模型标识和装配参考元素创建。测试结果证明了数字模型全息标识体系和辅助标识方法的可行性和有效性,为设计者提供了快速有效的标识手段,也为结合专业知识的机械装备数字化设计系统奠定了技术基础。

关键词: 数字模型; 虚拟装配; 全息标识; 人机交互; 辅助标识

中图分类号: S233.2; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)09-0414-13

Hierarchy of Holographic Identification and Technology of Auxiliary Identification

LIU Hongxin JIA Ru GUO Lifeng WANG Dengyu
(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Research and development of machinery and equipment focus on innovation of individual components and part of core technology, designers need to consult the manual again and again, and a lot of repetitive work was done. With the rapid development of computer technology, some simple parts libraries, standard parts libraries and part libraries are generated, but these libraries just can realize simple resource collection and original copy, personalized design and development capabilities cannot be provided. Virtual assembly technology is the important link in the process of complex mechanical equipment research and development, and how to realize intelligent and automated virtual assembly is regarded as an important way to improve efficiency of research and development. Establishment of standardized digital model resources and database was required, which was used as model base and information sources to realize intelligent virtual assembly technology. Aiming at the standardized construction of digital model of complex mechanical equipment, digital model holographic identification system based on the matter-element was put forward, and auxiliary identification method was given. Complex mechanical equipment was studied, its topology hierarchy was researched, the basic information of parts and assembly information was analyzed, the composition of basic and assembly matter-element was defined, the semantic information coding and identification rules of matter-element were enacted, creation of assembly reference elements and construction of digital holographic model identification system was completed. Auxiliary identification method of digital model identification was researched in order to achieve efficient and intelligent identification, and a human-computer interaction platform which was suitable for holographic system was designed. The platform can achieve the functions of rapid extraction and interpret assembly information, assembly related information can be converted to matter-element code, and automatic identification, intelligently auxiliary model identification was completed and assembly reference element was created. Test results showed that digital holographic model identification system and auxiliary identification method was feasible and effective, quick and effective identification method was provided for designers. It also set the base for complex mechanical equipment digital design system which combined with professional knowledge.

Key words: digital model; virtual assembly; holographic identification; human-computer interaction; auxiliary identification

0 引言

机械装备研发过程中,通常采用局部创新与功能升级的方式进行适应性设计与改型设计,产品的更新换代一般体现在一个或几个零部件上。虽然机械装备的研发重点在个别零部件及部分核心技术的创新上,但限于目前的技术手段,为形成整机的工程图纸及技术资料,需要设计人员反复查阅手册并进行大量重复性劳动,劳动量大且耗时长。随着计算机技术的飞速发展,现代高端三维机械工程软件为数字模型的创建和模型资源积累提供了高效平台,随之产生了一些朴素的零件库、标准件库及行业通用件库,但这些库仅实现了资源的简单集合与原始复制,不能提供个性化的设计与开发功能。

虚拟装配技术是机械装备研发过程中的重要环节,而实现智能化、自动化的虚拟装配是提高研发效率的重要途径,也是实现模型资源组织、共享、重用、智能辅助设计与选型配套等功能的技术基础^[1],这就需要构建标准化数字模型资源和数据库,作为实现智能虚拟装配技术的模型基础和信息来源。

国内外针对虚拟装配,对数字模型及装配信息的创建进行了广泛的研究,主要有以下几种方法:基于约束,因为装备设计实际上是基于装配关系进行的,而现有三维系统中是通过几何体元素进行约束,因此研究一种基于约束的装配信息表达方法^[2-4];基于规则,主要针对产品装配顺序规划问题,研究规则信息表达方法^[5-7];基于本体,为了解决传统数据模型难以表达装配过程复杂管理和知识表达问题,而创建模型及其表达的方法^[8-12];基于知识,为提高设计质量和效率,可将设计知识共享并重用^[13-16];基于语义,为表达装配信息及装配关系,研究的一种表达方法^[17-20];基于特征,通过识别装配中的特征,结合知识推理实现自动匹配^[21-23];基于Web,为实现交互平台的建模、装配、干涉检查等,提出的一种将数据进行整体优化方法^[24-25]。对于具有一定规模的数字模型库,无论运用何种方法创建均存在较大的工作量,而相应的辅助标识方法未见有相关研究。

作者团队曾研究基于物元标识的人机交互式虚拟装配,对装配物元标识做了分析与定义。提出装配物元的概念,将装配信息进行语义编码和标识。只要分析并提取每个零件的装配物元信息即可构建出完整的装配。创建一种基于装配物元标识的智能装配系统,标识后的独立部件总成可利用虚拟装配系统快速准确地装配。可实现对装配语义集的提取与分析,将装配语义信息转化为装配约束,引导完成

虚拟装配。为智能虚拟装配提供先进有效的手段,并为本文的研究奠定基础^[26]。但对于更加复杂的机械装备的智能辅助设计、互换性装配、系统性扩展与维护,装配物元标识的数字模型及其物元信息不能满足设计要求,因此需要研究一种高效、规范且可读性强的数字模型全息标识规则与方法。

综上所述,本文提出全息标识的概念并研究其体系与辅助标识方法,以实现标识信息的全息化和标准化,为机械装备数字模型库的建立提供快速有效的手段,同时为智能虚拟装配技术及其他辅助设计功能的实现奠定模型及信息基础。

1 全息标识的定义与流程

为更加系统、规范、全面地表达数字模型的基本信息与装配信息,提出全息标识的概念,这里将全息标识定义为数字模型实现自动装配所需的全部信息被完整标记的过程,全息标识体系可为标准化的数字模型构建提供方法和规则。

规则化标识和标准化模型可为模型资源的虚拟装配提供丰富的可重用资源和信息。全面的标识信息与合理的标识流程是人机交互式辅助标识方法的基础。数字模型标识流程如图1所示。

2 全息标识结构与规则

2.1 标识结构与要素

针对装配基本元素“零件”,研究全息标识结构与要素^[26]。分析数字模型的基本信息和装配信息,包含数字模型调用和虚拟装配所需的全部要素。基本信息包括零件名称,零件所属装配体在拓扑层次中的位置和在装配结构树中零件所属层次位置3要素。装配信息包括零件所属装配层次、与其有装配关系的零件、装配参考元素、装配约束类型、装配约束方向和装配约束数值6要素。

为规范模型资源,同时也为模型资源在虚拟装配系统中的重用和互换性装配提供基础,引入装备谱系的概念,构建拓扑层次图。以精密播种装备为例,除标准件外,精密播种装备一般由播种模块、施肥开沟模块、覆土镇压模块、机架、仿形机构和其他部件组成^[27],定义该层次为精密播种装备的第一拓扑层次。播种模块的种箱、排种器、种沟开沟器,施肥开沟模块的肥箱、排肥器、施肥开沟器,覆土镇压模块的覆土器、镇压器,其他部件中的传动件、链接紧固件、地轮各零部件单元定义为精密播种装备的第二拓扑层次,也为基础拓扑层次,拓扑层次如图2所示。

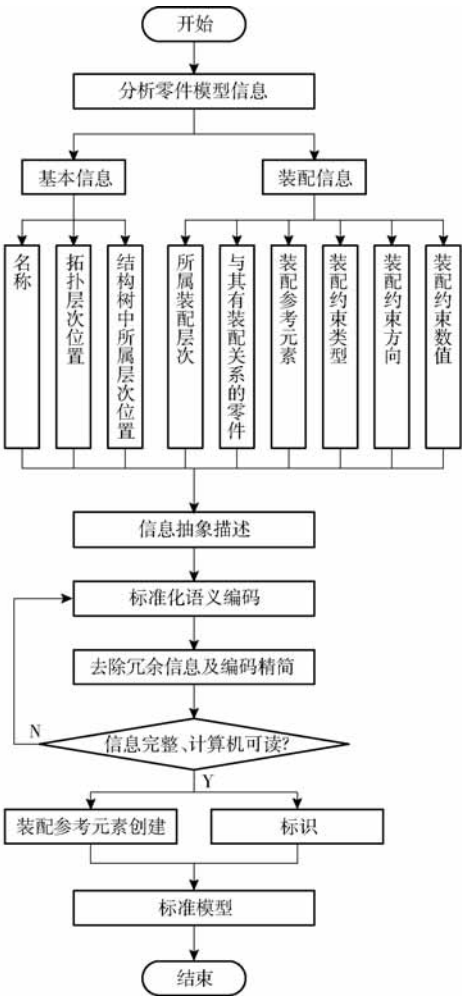


图1 数字模型标识流程

Fig.1 Digital model identification procedure

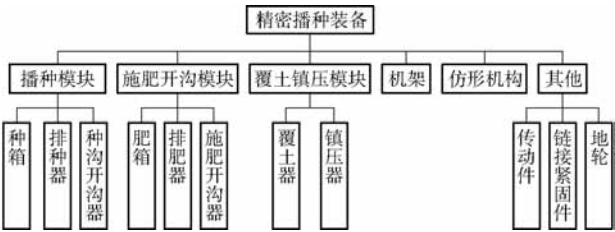


图2 精密播种装备谱系拓扑层次图

Fig.2 Pedigree topological map of precision seeding equipment

2.2 标识字段及段内信息设置

为清晰表达装备数字模型的基本信息和装配信息,提出基本物元与装配物元的概念。基本物元定义为零件名称,零件所处拓扑层次位置,零件在装配结构树中所属层次位置和上一级层次位置的统称。基本物元以有序的四元组: $B=(N,T,S,H)$ 来表达,各要素含义如图3a所示。基本物元的4要素可以清晰表达零件的基本信息和所属层次。

装配物元定义为零件所属装配层次、与其有装配关系的零件、装配参考元素、装配约束类型、装配约束方向和装配约束数值的统称。装配物元

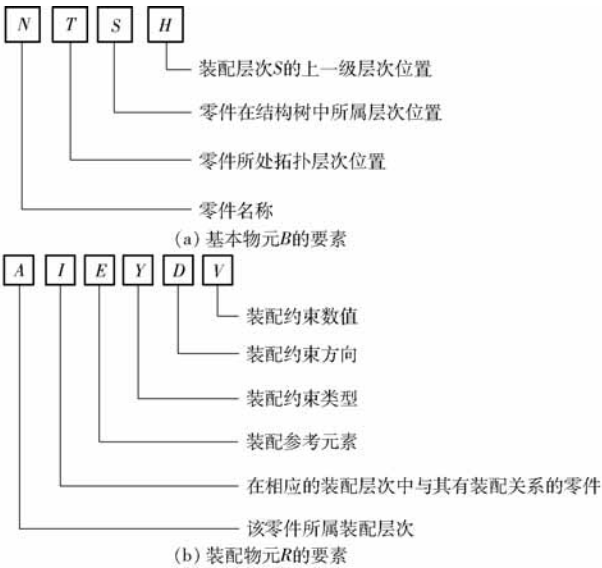


图3 基本物元和装配物元的要素组成

Fig.3 Factors of basic matter-element and assemble matter-element

注:要素 T 主要考虑模型资源的重用和互换功能所定义的;要素 H 用来获取装配层次信息;一个零件可同属多个装配层次要素 A 。

以有序的六元组: $R=(A,I,E,Y,D,V)$ 来表达,各要素含义如图3b所示。装配物元的6要素可完整表达装配信息。装配物元又分为基本拓扑层次装配物元和其他拓扑层次装配物元,基本拓扑层次装配物元信息为每个最基本单元内部装配信息,其他拓扑层次装配物元为最基本单元之间或模块之间的装配信息,为数字模型的重用和替换提供信息基础。以图2所示装备谱系拓扑层次图为例,其装配物元可分为基础拓扑层次装配物元 R_0 和一级拓扑层次装配物元 R_1 。

2.3 语义编码规则

为使信息计算机可读,需将基本物元和装配物元信息抽象为编码,同时满足信息表达的完整性、可计算性、规则的普适性和编码的精简性。制定合理高效的语义编码规则,并将该规则作为辅助标识过程快速构建标准化模型和标识的规则。本文针对以计算机辅助三维交互应用(Computer aided three-dimensional interactive application, CATIA)为虚拟环境、Visual Basic 为开发语言和 Microsoft Office Access(关系数据库管理系统)为后台数据库的虚拟装配和辅助标识,制定物元及语义编码规则如表1所示。

为简化编码和避免系统无法正确选择所需参考元素的情况,利用缺省约束类型,自定义装配参考元素的方法,将三维设计软件中全部约束方式在模型创建中均转化为点、轴或线、面之间的相合约束。因此,需要在3D模型中建立相应的点、轴或线、面作

表 1 物元及语义编码规则

Tab. 1 Rules of matter-element and semantic encoding

基本物元 B 的 4 要素				装配物元 R 的 6 要素					
N	T	S	H	A	I	E	Y	D	V
N	T	S	H	A_1	I_{11}	$E_{111}, E_{112}, \cdots, E_{11k_1}$	Y_1 (相合约约束)	D_1 (相同)	V_1 (长度/mm)
					I_{12}	$E_{121}, E_{122}, \cdots, E_{12k_2}$		D_2 (相反)	
					$\vdots$	$\vdots$		D_3 (未定义)	
					I_{1j_1}	$E_{1j_11}, E_{1j_12}, \cdots, E_{1j_1k_{j_1}}$		D_4 (扇形 1 ~ 4)	
					I_{21}	$E_{211}, E_{212}, \cdots, E_{21k_1}$		D_5 (平行)	
				A_2	I_{22}	$E_{221}, E_{222}, \cdots, E_{22k_2}$	Y_2 (接触约束)	D_6 (不平行)	V_2 (角度/ (°))
					$\vdots$	$\vdots$	Y_3 (偏移约束)	D_7 (内部)	V_3 (无)
					I_{2j_2}	$E_{2j_21}, E_{2j_22}, \cdots, E_{2j_2k_{j_2}}$	Y_4 (角度约束)	D_8 (外部)	
					$\vdots$	$\vdots$	Y_5 (固定)	D_9 (无)	
					I_{i1}	$E_{i11}, E_{i12}, \cdots, E_{i1k_1}$			
A_i	I_{i2}	$E_{i21}, E_{i22}, \cdots, E_{i2k_2}$							
	$\vdots$	$\vdots$							
	I_{ij_i}	$E_{ij_i1}, E_{ij_i2}, \cdots, E_{ij_ik_{j_i}}$							

注： i, j, k 均为正整数。

为装配参考元素。装配约束类型 Y 缺省为相约束；装配约束数值 V 缺省为无。

2.4 物元标识规则

为使全部信息充分有效地存储、组织、管理和应用,利用 Microsoft Office Access 创建智能虚拟装配及其辅助标识系统的数据库。

将包含信息的编码以一定的规则标识,即可完成数字模型全息标识。在完整而有效地表征语义编码信息的同时,保证程序易于提取。基本物元 B 的 4 要素 N, T, S, H 的标识规则如图 3a 所示,分别标识在零件文件名和数据库中;基础拓扑层次装配物元 R_0 的要素 A 和 I 标识规则如图 4a 所示,标识在数据库中;基础拓扑层次装配物元 R_0 的要素 E 标识规则如图 4b 所示,为使两个有装配关系的参考元素具

有相同的标识名称,将 N 和 I_{ji} 的编码以顺序排序,标识在自定义的装配参考元素的名称中;其他拓扑层次装配物元的要素 E 标识规则如图 4c 所示,与其他拓扑层次装配物元的其他要素均标识在数据库中。

物元 T 可用于定位装配体在谱系拓扑层次图中的位置,为模型调用和同一拓扑层次装配体的互换装配提供编码信息;物元 S, H 两项编码为装配体的装配层次和零件在装配中所属层次提供信息;分隔符 1“_”与分隔符 2“!”利于程序识别和计数;装配物元 R_0 的物元 A, I, E 为最基本单元内部装配信息的编码;其他拓扑层次装配物元的要素 E 的编码,即单元或模块间的装配信息为智能虚拟装配系统默认,标识在数据库中,以实现模型重用、选型和互换装配。

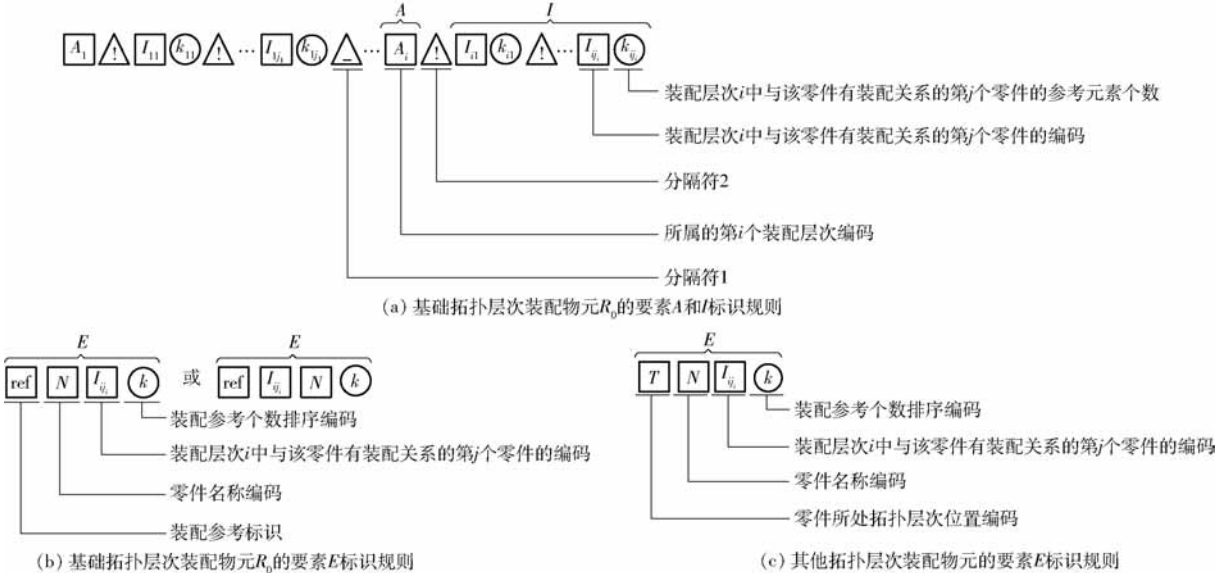


图 4 标识规则

Fig. 4 Identification rules

注：□表示英文字母，○表示阿拉伯数字，△表示符号， B 表示基本物元。

3 辅助标识方案与技术流程

利用上述方法标识的数字模型结合系统数据库,为智能虚拟装配系统提供模型资源和装配信息,也为数字模型的标准化构建及标识过程提供规则。但对于具有一定规模的数字模型库的标准化标识工作十分繁重,因此,提出一种数字模型辅助标识方法,通过人机交互的方式,以上述全息标识规则和方法为基准,创建装配参考元素并自动标识。辅助标

识方法的实现不仅为减轻系统设计者的工作量提供有效工具,同时也为用户对模型库的自定义扩充提供基本条件。

辅助标识方法的初始研究对象为任何一般装配体,通过对装配体装配信息的分析与提取,以人机交互的形式实现模型的标准化物元标识和装配参考元素的创建,快速完成标准化数字模型的构建,流程如图 5 所示,主要分为信息提取、信息转化和信息标识 3 个阶段。

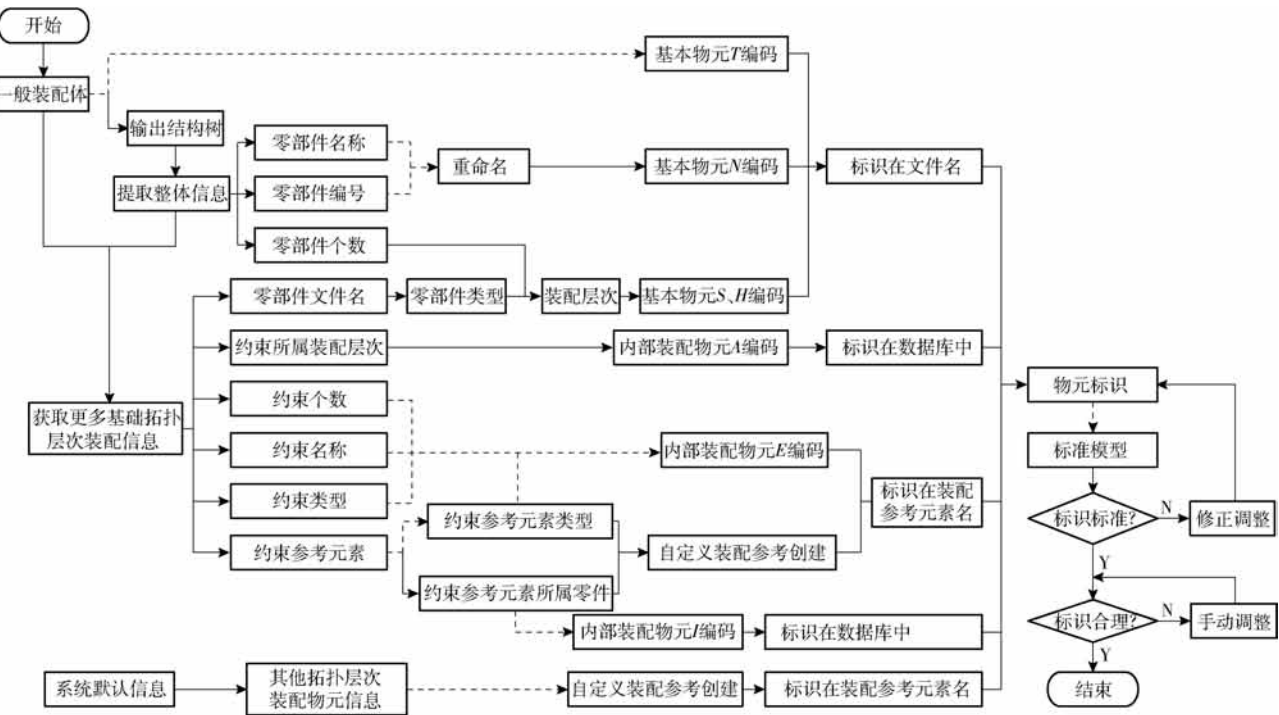


图 5 模型辅助标识流程
Fig. 5 Model intelligent auxiliary identification procedure
注:实线表示系统自动完成,虚线表示人机交互完成。

通过输出“txt”格式装配模型结构树获取装配模型零部件个数、实例名称和零件编码等基本信息,输出的文本文档作为临时文件,获取信息后即可删除,此种方法相较于在模型结构树中逐级分析探索更加高效;通过人机交互形式,确定装配体所属拓扑层次作为基本物元 T 编码,确定装配体中文名称以便在系统内调用和查看,并按规则重命名全部零部件,作为基本物元 N 编码;利用获取的零部件个数和名称等信息,遍历装配模型结构树,获取装配约束信息,并将信息转化为物元编码,必要时利用人机交互界面,补充无法智能识别信息,得到基本物元 B 和基本拓扑层次装配物元 R_0 信息;根据编码及标识规则,创建装配参考元素,并进行标识;单元或模块之间的其他拓扑层次装配信息及标识均为系统默认,需将该装配体相应的名称信息标识在数据库中,根据人机交互界

面引导创建装配参考元素并进行标识。

4 模型信息提取、转化与标识

CATIA 进程外开发方式最主要的有 2 种方法,一种是开放的基于构件的应用编程接口组件应用架构(Component application architecture, CAA)技术,另一种是自动化对象编程 CATIA Automation 技术^[28]。本文利用自动化对象编程 CATIA Automation 技术,以交互方式进行定制开发,此种方法相较于 CAA 技术更加简单。在 CATIA Automation 中,所有的数据都被封装成了对象的形式,并形成建模时常见的逐层包含的树状结构。Application(应用)是根对象,下面又派生出许多子对象。每一个对象都有其操纵集合的方法和属性。本文所用到的对象之间的结构关系如图 6 所示^[29]。

利用 CreateObject 方法访问 CATIA,代码为^[30]

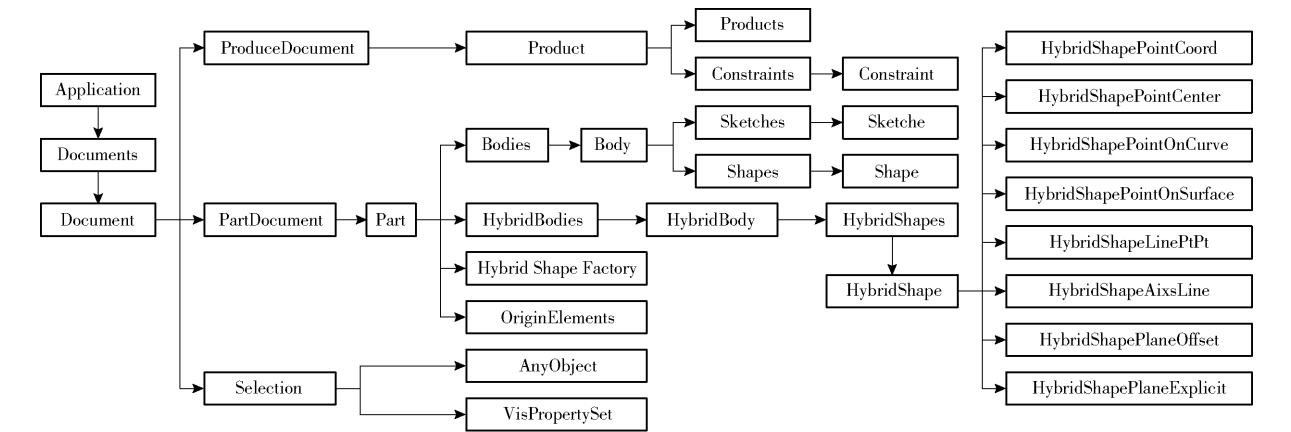


图 6 CATIA 文档结构

Fig. 6 CATIA document structure

CATIA = CreateObject(“CATIA. Application”)

4.1 信息提取

输出结构树、获取零部件文件名和获取约束类型均为系统后台完成过程,其他提取步骤需结合人机交互界面完成。辅助标识的初始状态设定对话框如图 7 所示。



图 7 初始状态设定对话框

Fig. 7 Dialog box of initial state setting

4.1.1 结构树输出

利用 ProductDocument (产品文档) 对象的 ExportData(输出数据)方法快速输出装配模型结构树,语句为^[31]

oProductDocument. ExportData (iFileName, iFormat)

其中,iFileName 为输出文件名(包括完整路径),iFormat 为输出格式类型。本文输出格式类型定义为“txt”。

利用文本格式的结构树信息,可快速获取零部件个数、实例名称和零件编码,为遍历结构树和准确获取更多装配信息提供基础信息。提取信息后,利用 Kill 语句从磁盘中删除该文本文件。

4.1.2 零部件文件名(含扩展名)获取

利用当前活动文档 CATIA. ActiveDocument 对象的 GetItem(获取项目)方法返回 AnyObject(任何对象)对象类型,其语句为^[29]

oAnyObject = CATIA. ActiveDocument. GetItem (IDName)

其中,IDName 为零部件编码。

利用 AnyObject 对象的 Parent(父级)属性获取零部件文件名(含扩展名),进而获得零部件的类型,确定装配模型的层次关系,即可确定基本物元 B 的要素 $S、H$ 。

4.1.3 重命名

通过人机交互的方式,输入零部件的基本物元 B 的要素 N 的编码,这里规定编码由 3 位英文字母或数字组成。将编码赋值给 Product(产品)对象的 PartNumber(零件编码)属性定义其零件编码,并赋值给 Product 对象的 Name(名称)属性定义其实例名称,即可得到基本物元 B 的要素 N 。交互界面如图 8 所示。



图 8 重命名对话框

Fig. 8 Dialog box of rename

如单击“默认”按钮,按照自定义的阿拉伯数字编码方式对零部件进行重命名。需注意该方法因命名规则的限制,装配体所允许的零件数量有上限值。

4.1.4 谱系拓扑层次及中文名称确定

通过人机交互界面选择装配体所处谱系拓扑层次,即可得到基本物元 B 的要素 T ,并输入装配体中文名称,以便模型在系统中的检索与重用,交互界面

如图9所示。



图9 设置谱系层次及标识对话框

Fig.9 Dialog box of spectrum level setting and identification

根据基本物元 B 标识规则(图3a)即可得到物元 B 的编码。

4.1.5 约束信息获取

约束信息包括:不同装配层次的约束个数,约束名称,约束类型和约束参考元素。

根据得到的基本信息和装配层次信息,利用 Constraints(约束)对象的 Count(数量)属性获取各装配层次的约束个数。

利用 Constraints 对象的 Item(项目)方法遍历各装配层次的全部约束 Constraint(约束)对象,返回类型为 Constraint,语句为^[31]

$oConstraint = oConstraints.Item(iIndex)$

其中, $iIndex$ 为约束集合中对象的名称或顺序号,本文顺序号根据获取的约束个数确定。

分别利用 Constraint 对象的 Name 和 Type(类型)属性获取约束名称和种类。

利用 Constrain 对象的 GetConstraintElement(获取约束元素)方法获取装配参考元素,返回类型为 Reference,语句为^[31]

$oReference = oConstraint.GetConstraintElement(iElementNumber)$

其中, $iElementNumber$ 为装配参考元素顺序号,一般一个约束包含 2 个参考元素,因此本文中 $iElementNumber$ 分别为“1”和“2”。

利用 Reference(参考)对象的 DisplayName(显示名称)属性获取参考的 GenericNaming label(通用命名标识)。GenericNaming label 中包含信息有:参考所属零件名称和路径,参考元素类型,参考元素名称等。

4.2 信息转化与标识

4.2.1 装配参考元素类型及所属零件确定

通过获取参考元素的 GenericNaming label,可确

定部分装配约束参考元素类型及其所属零件名称。参考类型包括:实体上端点,线端点,草图点,球心,实体边线,实体轴线,草图线,实体面,基准平面等。以轴线为例,轴与隔板之间的一个轴线相约束中,轴的装配参考元素的 GenericNaming label 为:DCV/RAX/SHA/! Axis:(Selection_RSur:(Face:(Brp:(Shaft. 1; 0:(Brp:(Sketch. 1; 16)))); None:(); Cfl1:(); Pocket. 3_ResultOUT; Z0; G4074)),通过类型信息“! Axis:(Selection_RSur:”可知装配参考元素类型为实体的轴线,并可确定该装配参考元素所属零件名称为“SHA”。结合装配模型的层次关系和基础拓扑层次装配物元 R_0 的要素 A 和 I 标识规则(图4a),即可确定基础拓扑层次装配物元 R_0 的要素 A 和 I 的编码,该编码标识在系统数据库中。

但自定义创建的点、线、面和某些曲面无法通过该路径名称判断类型,需要人工判断,交互界面如图10所示,并设置被判断的参考元素高亮显示以便快速判断类型。



图10 判断参考元素类型对话框

Fig.10 Dialog box of reference element type determination

利用 Selection(选集)对象的 Add(添加)方法,将装配参考元素对象加入集合中,以实现参考元素高亮显示功能,语句为^[29]

$oSelection.Add(iObject)$

其中, $iObject$ 为任何对象,类型为 AnyObject 对象。

利用约束关系和约束参考元素所属零件等信息,根据基础拓扑层次装配物元 R_0 的要素 E 标识规则(图4b),可得到物元 E 编码。

4.2.2 装配约束转化规则

手动创建装配参考元素时,可人为判定参考类型和创建位置等,利用计算机自动转化和创建装配参考元素时,则需要制定相应的转化规则,根据约束类型和装配参考元素类型确定转化方式。

对于某一约束的两个装配约束参考元素,转化

规则主要分 3 种：两装配约束参考元素的类型均不改变,如相合约束的参考元素转化,均以原参考元素作为基准建立新的参考元素;两装配约束参考元素的类型改变一个,如偏移约束的参考元素转化,不变元素以原参考元素作为基准建立新的参考元素,改变元素以不变元素作为基准建立新的参考元素;两装配约束参考元素的类型均改变,如曲面和曲面之间的接触约束,获取一个曲面上的一点作为新的参考元素,以该点作为基准建立另一点参考元素。忽略固定约束,手动创建参考元素时可定义全部平面与平面之间的相合约束的方向为相反,但根据上述规则,利用辅助技术创建时,两个装配参考元素中一参考元素需要以另一参考元素为基准创建的情况,则装配方向需定义为相同,其他情况定义为相反。

以原始参考元素为实体上边线为例,不改变参考元素类型,在创建自定义装配参考元素时可以先创建直线上两个不同点,以这两点为参考创建直线。利用 HybridShapeFactory (混合形状工厂) 对象的 AddNewPointOnCurveFromDistance(在曲线上按距离添加新的点)方法在曲线或直线上创建点,语句为^[29]

oHybridShapePointOnCurve = oHybridShapeFactory.

AddNewPointOnCurveFromDistance (iCrv, iLong, iOrientation)

其中, iCrv 为参考曲线或直线,对象类型为 Reference; iLong 为相对曲线长度的比例; iOrientation 为布尔值,当定义为 True 时,相对曲线长度的比例从曲线的另一方向测量,反之,从曲线默认方向测量。返回对象类型为 HybridShapePointOnCurve (在曲线上的混合形状点)。

利用 HybridShapeFactory 对象的 AddNewLinePtPt(通过两点添加新的线)方法以两点为参考创建直线,语句为^[29]

oHybridShapeLinePtPt = oHybridShapeFactory.
AddNewLinePtPt(iPtOrigine, iPtExtremite)

其中, iPtOrigine 为直线起点,即参考点 1,对象类型为 Reference; iPtExtremite 为直线终点,即参考点 2,对象类型为 Reference。返回对象类型为 HybridShapeLinePtPt(通过两点的混合形状线)。

利用 HybridShapeFactory 对象的不同方法创建相应的参考元素,具体代码如表 2 所示。根据创建参考元素方法,确定装配约束的参考元素转化规则如表 3 所示。

表 2 混合形状工厂 (HybridShapeFactory) 对象创建参考元素方法及返回对象类型

Tab.2 Method of hybrid shape factory object to create a reference elements and types of return objects

参考类型	创建方法	返回对象类型	标记
实体或线上的点,草图点等	AddNewPointCoord	HybridShapePointCoord	①
球心	AddNewPointCenter	HybridShapePointCenter	
曲面	AddNewPointOnSurface	HybridShapePointOnSurface	②
实体上的线,草图线等	AddNewLinePtPt	HybridShapeLinePtPt	③
曲面的轴线	AddNewAxisLine	HybridShapeAxisLine	
实体上的平面,基准平面等	AddNewPlaneOffset	HybridShapePlaneOffset	④
平面曲线	AddNewPlaneI Curve	HybridShapePlaneI Curve	⑤

以一个参考元素为基准创建的另一参考元素,需要以人机交互形式辅助创建,以创建面对话框为例,如图 11 所示,按照对话框提示创建面,系统可辅助判断要创建的零件对象和参考基准,并在创建完成参考面后自动完成标识。通过定义参考元素的 Name 属性标识基础拓扑层次装配物元 R_0 的要素 E 。

4.2.3 其他拓扑层次装配物元标识

其他拓扑层次装配物元的参考创建,根据人机交互界面的提示步骤选择参考所属零件,以输入数字模型在系统中的对应关系,并手动创建参考,系统自动标识,交互界面如图 12 所示。

从数据库中提取其他拓扑层次装配物元的要素 E 编码,通过定义参考元素的 Name 属性自动标识其他拓扑层次装配物元的要素 E 。最后自动保存全

部零部件,分别利用 PartDocument (零件文档) 和 ProductDocument 对象的 SaveAs(另存为)方法,以基本物元 B 编码命名,将全部零部件数字模型保存在模型库中,完成全息标识。

5 辅助标识方法测试与体系功能

以某播种单元部装数字模型为测试对象^[32]。分别通过手动标识和辅助标识方式对双腔立式圆盘复合机械式排种器的数字模型进行标识,并将两模型资源导入标准化模型库,对比两种方式构建模型的不同;在基于全息标识体系的智能虚拟装配系统中,自动装配利用辅助标识的排种器数字模型,以验证辅助标识方法的有效性和模型的可用性;用立式浅盆型种盘排种器替换播种单元部件中原有的双腔立式圆盘复合机械式排种器,以验证全息标识体系

表 3 装配约束的参考元素转化规则

Tab.3 Transformation rules of reference elements of assembly constraints

全部装配类型					转化为相合约束				
约束类型	装配参考类型		数值	方向	创建方法	参考 1 类型	创建方法	参考 2 类型	方向
	参考 1	参考 2							
相合约束	点	点	无	无	①	点	①	点	无
	点	线/轴		无	①	点	③	线/轴	无
	点	平面		无	①	点	④	平面	无
	线/轴	线/轴		无	③	线/轴	③	线/轴	无
	线/轴	平面		无	③	线/轴	④	平面	无
	平面	平面		相同/相反/未定义	④	平面	④	平面	相反
偏移约束	点	点	长度/mm	无	①	点	人机交互	点	无
	点	线/轴		无	①	点	人机交互	点	无
	点	平面		无	①	点	人机交互	点	无
	线/轴	线/轴		平行/不平行	③	线/轴	③	线/轴	无
	线/轴	平面		无	人机交互	平面	④	平面	相同
	平面	平面		相同/相反/自定义	④	平面	人机交互	平面	相同
点接触	球面	平面	无	无	人机交互	平面	④	平面	相同
环形接触	平面曲线	球面	无	相同/默认	⑤	平面	人机交互	平面	相同
线接触	曲面	平面	无	内部/外部	人机交互	平面	④	平面	相同
	曲面	曲面		内部/外部	②	点	人机交互	点	无
曲面接触	平面	平面	无	默认 1	④	平面	④	平面	相反
	曲面	曲面		默认 2	②	点	人机交互	点	无
角度约束	线/轴	平面	角度/(°)	扇形 1~4	人机交互	平面	④	平面	相同
	线/轴	线		无	③	线/轴	人机交互	线/轴	无
	平面	平面		扇形 1~4	④	平面	人机交互	平面	相同
垂直约束	线/轴	平面	无	相同/相反/自定义	人机交互	平面	④	平面	相同
	线/轴	线/轴		平行/不平行	③	线/轴	人机交互	线/轴	无
	平面	平面		相同/相反/自定义	④	平面	人机交互	平面	相同
平行约束	线/轴	平面	无	无	人机交互	平面	④	平面	相同
	线/轴	线/轴			③	线/轴	人机交互	线/轴	无
	平面	平面			④	平面	人机交互	平面	相同
固定	零部件					忽略			

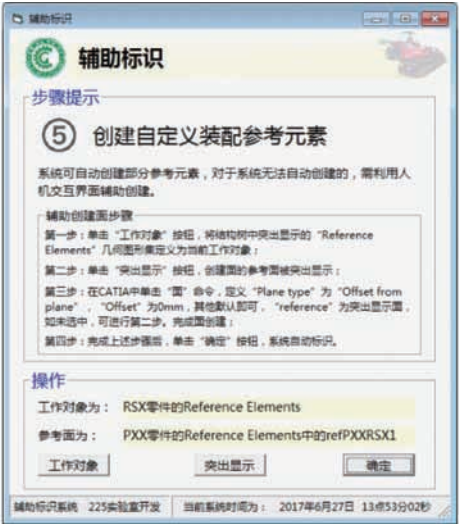


图 11 创建面参考元素对话框
Fig. 11 Dialog box of surface reference elements creation

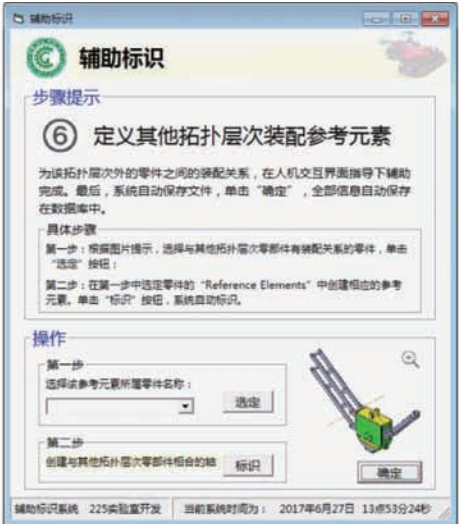


图 12 其他拓扑层次装配参考定义及标识对话框
Fig. 12 Dialog box of assembly references definition and identification of other topology hierarchy

的有效性。播种单元部装、双腔立式圆盘复合机械式排种器及立式浅盆型种盘排种器数字模型如图 13 所示,双腔立式圆盘复合机械式排种器和立式

浅盆型种盘排种器主要区别为排种盘形式不同,从而导致充种方式不同^[32-34]。

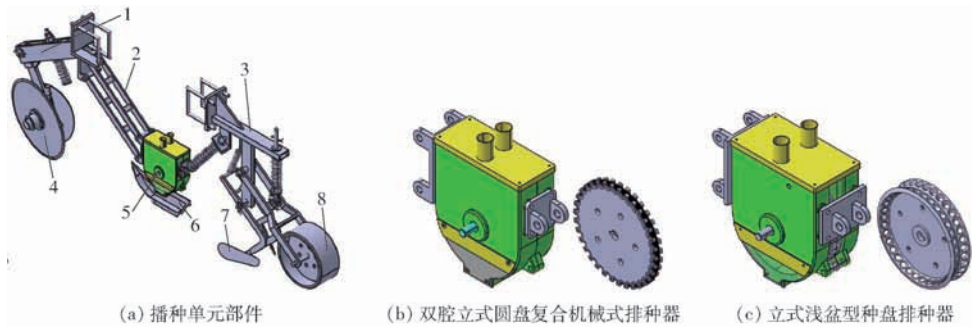


图 13 数字模型

Fig. 13 Digital model

1. 连体前座架 2. 平行四杆机构 3. 后复合座架 4. 施肥开沟器 5. 排种器 6. 种沟开沟器 7. 覆土器 8. 镇压轮

5.1 辅助标识方法测试

初始研究对象为双腔立式圆盘复合机械式排种器装配模型,由于模型装配约束创建有多种不同组合方式,这里要求尽可能按照排种器实际装配情况进行约束。对两个完全相同的装配模型分别进行手动标识和辅助标识,手动标识模型严格按照物元编码及标识规则创建装配参考元素和手动标识,辅助标识模型通过辅助标识方法创建装配参考元素和自动标识,结果表明两种方式获得的模型标识及自定义装配约束参考元素基本相同,但利用辅助标识方法构建标准数字模型效率显著提高。以有 25 个零件的双腔立式圆盘复合机械式排种器的数字模型为例,手动标识过程约需 5 h,辅助标识仅需 15 ~ 20 min,最高节约时间 95%。

以右壳体为例,利用手动标识和辅助标识两种方式标识的模型基本相同,仅装配参考元素创建顺序、类型和标识编码顺序不同,模型及装配参考元素标识如图 14 所示。手动标识物元 R_0 的要素 A 和 I 的其中一种可能为: RSA! ROB3! RIW3! RPS3 _DCV! PXX1! SHA1! LS X3,辅助标识物元 R_0 的要素 A 和 I 为 RSA! RIW3! ROB3! RPS3 _DCV! LSX3! PXX1! SHA1,物元 B 标识均为 RSXSMDRSADCV。其中,“RSX”为右壳体名称编码;“SMD”为所属的排种器拓扑层次编码;“RSA”为右壳体在结构树中所在的右壳体装配层次编码;“DCV”为右壳体装配的上级层次—总装配编码;“RPS3”表示右护种板与右壳体之间有 3 个装配约束,其他以此类推。编码顺序的不同不影响虚拟装配系统对信息的解读和装配约束的建立。

由于在双腔立式圆盘复合机械式排种器的初始装配模型中,装配参考元素类型均为线与线、面与面,两种方式标识的模型基本相同。为研究两种标

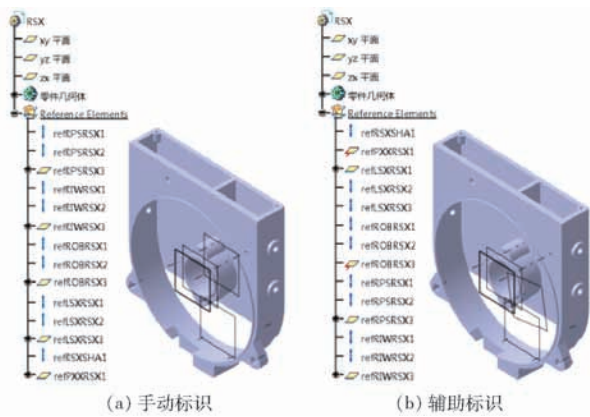


图 14 右壳体模型标识

Fig. 14 Right shell model identification

识方式的差异与不同对模型标识的影响,以键相对于隔板轴向定位约束为例,改变该定位的约束方式,并选择不同装配约束参考元素类型,原约束为键与隔板之间的曲面接触约束,如图 15 所示。分别以线与平面之间的偏移约束、线与平面之间的角度约束和点与线之间的偏移约束分别作为键的定位约束,分析原始模型装配参考元素,手动创建装配参考元素和辅助创建装配参考元素之间的区别,如表 4 所示。

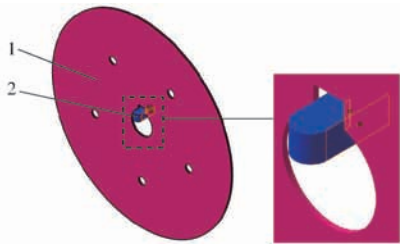


图 15 键的轴向位置定位的曲面接触约束

Fig. 15 Surface contact constraint of axial position

location of key

1. 隔板 2. 键

对比结果显示,由于创建规则的不同,导致手动创建方法和辅助创建方法创建装配参考元素的类型不同。

表 4 装配参考元素比较

Tab.4 Comparison of assembly reference elements

装配约束类型	原始模型装配参考元素		手动创建装配参考元素		辅助创建装配参考元素	
	元素类型(键&隔板)	模型	元素类型(键&隔板)	模型	元素类型(键&隔板)	模型
偏移约束	平面&线		平面&线		平面&平面	
角度约束	线&平面		线&平面		平面&平面	
偏移约束	平面&点		平面&点		点&点	

5.2 标识体系功能测试

将两种方法标识的排种器模型均导入标准化模型库,利用基于全息标识体系的智能虚拟装配系统(图 16a)进行自动装配^[26]。测试结果表明,两种方式标识的数字模型均能通过智能虚拟装配系统正

确、快速地自动装配,虽然装配参考元素类型和编码顺序不同,但均可达到预期装配结果。

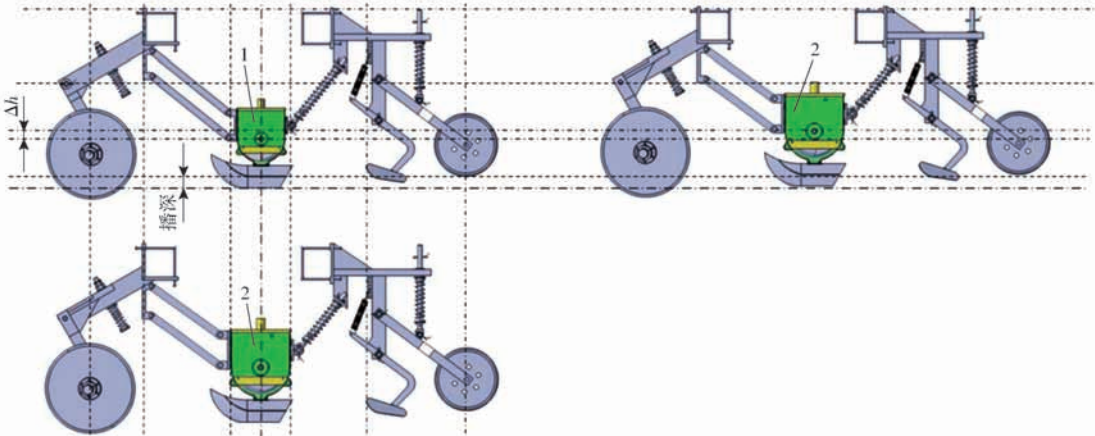
利用智能虚拟装配系统的替换功能将双腔立式圆盘复合机械式排种器替换为立式浅盆型种盘排种器。交互界面如图 16b 所示,替换后模型如图 16c



(a) 智能虚拟装配系统界面1



(b) 智能虚拟装配系统界面2



(c) 替换前后模型对比

图 16 智能装配系统测试

Fig. 16 Test of intelligent assembly system

1. 双腔立式圆盘复合机械式排种器 2. 立式浅盆型种盘排种器

所示。智能虚拟装配系统的替换功能,对于已经进行参数化设计的零部件可自动替换和参数化变型;对于未进行参数化设计的部件,可通过自动测量实现部件装配^[35]。测试结果表明利用全息标识方法标识的模型可顺利实现模型的替换,核心部件替换后与其相关联的附属零部件自动进行适应性调整与变化,以保证整个作业单元满足农艺要求的工作参数不变,该单元与核心部件有关的主要工作参数为图16c所示的“播深”。

6 结论

(1)全息标识规则及方法可以适用于机械装备数字模型资源的标识。“基本物元”加“装配物元”

的表达方式能够完整且唯一地描述产品所有零件的基本信息和装配关系,全面、准确且精简的全息标识体系是辅助标识方法有效性和可行性的基础。

(2)基于全息标识体系的数字模型辅助标识方法充分利用双向交互信息,智能解读装配信息,实现模型快速标识,极大提高资源化处理效率,为数字化设计专家系统中装备数字模型库的建立奠定了技术基础,同时也为用户自定义扩充模型提供技术手段。

(3)利用 GenericNaming label 中关键词判断装配参考元素类型,及 HybridShapeFactory 对象创建自定义装配参考元素的方式。该方式可行且高效,但由于装配参考元素的复杂性,其全面性需继续探索 and 补充。

参 考 文 献

- LIU Fei, GUANG Yunpeng, LU Yukun. The research of system architecture of dynamics modeling system based on virtual assembly for integrated transmission[J]. *Procedia Engineering*, 2017, 174: 456–464.
- JIANG Du, NA Guiyang, JI Kaiqiang. Research on assembly model based on assembly constraints transformation[J]. *Procedia Engineering*, 2012, 29: 770–774.
- 陆春月. 基于特征约束语义的夹具自动装配技术研究[J]. *机床与液压*, 2011, 39(13): 125–130.
LU Chunyue. Research on automatic assembly technology of the fixture based on feature constraint semanteme[J]. *Machine Tool & Hydraulics*, 2011, 39(13): 125–130. (in Chinese)
- 房娜, 周来水, 卫炜, 等. 基于装配属性的夹具快速装配设计[J]. *组合机床与自动化加工技术*, 2016, 58(10): 134–136.
FANG Na, ZHOU Laishui, WEI Wei, et al. Rapid fixture assembling design based on assembly attributes[J]. *Modular Machine Tool & Automatic Manufacturing Technique*, 2016, 58(10): 134–136. (in Chinese)
- DU Shichang, XI Lifeng. Fault diagnosis in assembly processes based on engineering-driven rules and PSOSAEN algorithm[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2011, 60(1): 77–88.
- 魏小龙, 李原, 陈姣. 基于知识规则与几何推理的非单调装配序列规划方法[J]. *锻压装备与制造技术*, 2014(4): 109–113.
WEI Xiaolong, LI Yuan, CHEN Jiao. Non-monotonic assembly sequence planning method based on knowledge rule and geometric reasoning[J]. *China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology*, 2014(4): 109–113. (in Chinese)
- 于嘉鹏, 王成恩, 张闻雷, 等. 基于优先规则筛选的装配序列规划方法[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2009, 30(11): 1636–1640.
YU Jiapeng, WANG Cheng'en, ZHANG Wenlei, et al. Assembly sequence planning based on screening of priority rules[J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2009, 30(11): 1636–1640. (in Chinese)
- CHEN Shaoli, YI Jianjun, JIANG Hui, et al. Ontology and CBR based automated decision-making method for the disassembly of mechanical products[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2016, 30(3): 564–584.
- ELISE G, FRÉDÉRIC D, OLIVIER D, et al. A formal ontology-based spatiotemporal mereotopology for integrated product design and assembly sequence planning[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2015, 29(3): 495–512.
- 朱怡心, 乔立红, NABIL Anwer. 基于本体的装配过程几何仿真框架[J]. *计算机集成制造系统*, 2013, 19(5): 972–980.
ZHU Yixin, QIAO Lihong, NABIL Anwer. Geometrical simulation framework of assembly process based on ontology[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2013, 19(5): 972–980. (in Chinese)
- 丁博, 于晓洋, 孙立镭, 等. 基于本体的协同装配关系模型[J]. *哈尔滨理工大学学报*, 2013, 18(4): 42–46.
DING Bo, YU Xiaoyang, SUN Lijuan, et al. Collaborative assembly relation model based on ontology[J]. *Journal of Harbin University of Science and Technology*, 2013, 18(4): 42–46. (in Chinese)
- 任民山, 蔡红霞, 李钧. 基于本体的民机装配工艺知识库系统构建[J]. *工业控制计算机*, 2018, 31(4): 122–123, 125.
REN Minshan, CAI Hongxia, LI Jun. Construction of knowledge civil aircraft assembly process based on ontology[J]. *Industrial Control Computer*, 2018, 31(4): 122–123, 125. (in Chinese)
- JIANG Du, NA Guiyang, JI Kaiqiang. Precedence constraint knowledge-based assembly sequence planning for open-architecture products[J]. *Procedia CIRP*, 2016, 56: 7–12.
- MADHUSUDANAN N, AMARESH C. A questioning based method to automatically acquire expert assembly diagnostic knowledge[J]. *Computer-Aided Design*, 2014, 57: 1–14.
- 胡志明, 王仲奇, 康永刚, 等. 基于知识重用的飞机装配型架设计研究[C] // 第二十九届中国控制会议论文集, 2010: 5314–5318.
- 谷宇, 王岳森, 陆应芳, 等. 基于知识融合的虚拟产品装配设计知识管理研究[J]. *盐城工学院学报(自然科学版)*, 2013, 26(3): 48–53.
GU Yu, WANG Yuemiao, LU Yingfang, et al. Research of assembly design knowledge management of virtual product based on knowledge fusion[J]. *Journal of Yancheng Institute of Technology (Natural Science Edition)*, 2013, 26(3): 48–53. (in

- Chinese)
- 17 QIN Feiwei, GAO Shuming, YANG Xiaoling, et al. An ontology-based semantic retrieval approach for heterogeneous 3D CAD models[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2016, 30(4): 751–768.
- 18 SANG M J, JAE H L, GYEONG J H, et al. Automatic CAD model retrieval based on design documents using semantic processing and rule processing[J]. *Computers in Industry*, 2016, 77: 29–47.
- 19 陆菁,刘惠义,郑源,等. 基于语义的虚拟装配仿真模型研究及应用[J]. *计算机与数字工程*, 2012, 40(11): 92–95.
LU Jing, LIU Huiyi, ZHENG Yuan, et al. Study and application of virtual assembly model based on assembly semantic[J]. *Computer & Digital Engineering*, 2012, 40(11): 92–95. (in Chinese)
- 20 敬石开,谷志才,刘继红,等. 基于语义推理的产品装配设计技术[J]. *计算机集成制造系统*, 2010, 16(5): 949–955.
JING Shikai, GU Zhicai, LIU Jihong, et al. Product assembly design based on semantics reasoning[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2010, 16(5): 949–955. (in Chinese)
- 21 SAMER A G, PARISA G, BEHZAD S, et al. Semantic interoperability of knowledge in feature-based CAD models[J]. *Computer-Aided Design*, 2014, 56: 45–57.
- 22 程亚龙,梅启元. 基于特征识别的紧固件快速装配方法研究[J]. *电子机械工程*, 2016, 32(3): 42–45.
CHENG Yalong, MEI Qiyuan. Research of rapid assembly approach for fasteners based on feature recognition[J]. *Electro-Mechanical Engineering*, 2016, 32(3): 42–45. (in Chinese)
- 23 陆晓斌,周来水,姚铄,等. 基于特征的组合夹具快速装配设计[J]. *航空制造技术*, 2015, 58(增刊1): 80–83, 85.
LU Xiaobin, ZHOU Laishui, YAO Shuo, et al. Modular fixture rapid assembly design based on feature[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2015, 58(Supp.1): 80–83, 85. (in Chinese)
- 24 赵海峰,李雀屏. 基于 Web 的全断面掘进机虚拟装配系统开发[J]. *建筑机械*, 2016, 36(11): 66–71.
ZHAO Haifeng, LI Queping. The development of virtual assembly system for the tunnel boring machine based on Web[J]. *Construction Machinery*, 2016, 36(11): 66–71. (in Chinese)
- 25 马希青,李石妍,鲍森茂,等. 基于 Web3D 的液压支架虚拟装配平台的研究与开发[J]. *机电产品开发与创新*, 2013, 26(6): 93–95.
MA Xiqing, LI Shiyan, BAO Senmao, et al. Study on the virtual assembly of hydraulic support based on Web3D[J]. *Development & Innovation of Machinery & Electrical Products*, 2013, 26(6): 93–95. (in Chinese)
- 26 刘宏新,贾儒,周兴宇,等. 基于物元标识的人机交互式机械排种器虚拟装配[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(1): 38–45.
LIU Hongxin, JIA Ru, ZHOU Xingyu, et al. Virtual assembly of man-machine interactive mechanical seed-metering device based on matter-element identification[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(1): 38–45. (in Chinese)
- 27 刘宏新,付露露,贾儒,等. 大豆播种装备谱系模块聚类划分方法[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(19): 43–50.
LIU Hongxin, FU Lulu, JIA Ru, et al. Partition method for module clustering of soybean seeding equipment pedigree[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(19): 43–50. (in Chinese)
- 28 彭欢. 基于 V5 Automation 的 CATIA 二次开发技术研究[J]. *电子机械工程*, 2012, 28(2): 62.
PENG Huan. Study on secondary development technology for CATIA based on V5 Automation[J]. *Electro-Mechanical Engineering*, 2012, 28(2): 62. (in Chinese)
- 29 DIETER R Z. CATIA V5 macro programming with visual basic script[M]. New York: The McGraw-Hill Companies, 2012: 45, 172, 189, 331, 373, 525.
- 30 胡挺,吴立军. CATIA 二次开发技术基础[M]. 北京:电子工业出版社, 2006.
- 31 EMMETT R. VB Scripting for CATIA V5. [M]. Fourth Edition: Amazon Kindle, 2015: 70, 183.
- 32 刘宏新. 大豆密植平播机关键部件研究及整机设计[M]. 北京:中国农业出版社, 2007: 29–32.
- 33 刘宏新,徐晓萌,郭丽峰,等. 具有复合充填力的立式浅盆型排种器充种机理[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(21): 9–16.
LIU Hongxin, XU Xiaomeng, GUO Lifeng, et al. Research on seed-filling mechanism of vertical shallow basin type seed-metering device with composite filling force[J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(21): 9–16. (in Chinese)
- 34 刘俊孝. 对置斜盘高速精密大豆排种器设计与试验研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2017.
LIU Junxiao. Design and working mechanism analysis on opposed inclined-plate high-speed soybean seed-metering device[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- 35 刘宏新,周向荣,李蓉,等. 复式播种单元 3D 模型参数化数字资源研究[J]. *东北农业大学学报*, 2014, 45(12): 105–111.
LIU Hongxin, ZHOU Xiangrong, LI Rong, et al. Parametric digital resources research on 3D model of compound seeding unit[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2014, 45(12): 105–111. (in Chinese)