

装配工艺设计知识表达研究*

Research on Knowledge Representation in Assembly Process Planning

北京航空航天大学工业与制造系统工程系 高媛 乔立红

[摘要] 为实现知识在装配工艺设计中的应用,从知识在计算机辅助装配工艺设计应用的角度出发,对装配工艺领域知识进行了分析和结构化表达。针对检索、引用以及工艺决策3类应用,对装配工艺通用知识、装配工艺模板知识及装配工艺决策元知识建立了知识库模型,并结合工艺设计系统给出了知识库应用实例,验证了知识库模型的有效性。

关键词: 知识库 装配工艺设计 模型

[ABSTRACT] In order to realize the application of knowledge in assembly process planning, this article analyzes and structuralizes the knowledge in the domain of assembly process from the perspective of knowledge application in computer aided assembly process planning. Aiming at achieving applications like retrieving, citing and process decision-making, the knowledge base models of general assembly process knowledge, assembly process template knowledge and assembly meta-process of decision-making knowledge are constructed respectively, whose validity is also verified based on a case study on the application of knowledge base in process planning system.

Keywords: Knowledge base Assembly process planning Model

当今世界已进入知识经济时代,知识对提升企业竞争力有着日益彰显的重要作用。工艺知识是制造企业核心竞争力的一部分,企业在多年实践中积累了丰富的知识和经验,但其大多只储存于工艺人员头脑或纸质文件中,造成企业当前工艺知识组织散乱、传承性低、重复利用难的现状^[1]。工艺设计依赖于生产经验,尤其是装配工艺设计,其经验性更强,而工艺人员经常在做大量重复性劳动。在企业中调研发现,企业现用的装配工艺设计系统大多以替代传统手工编制工艺规程的方式为主,与工艺设计智能化和自动化还有较大差距。建立装配工艺知识库,支持自动化装配工艺设计已成为企业当前的迫切需求。

在工艺知识库建模方面,国内外学者也进行了大量

研究^[2-5]。当前加工工艺知识库有了比较成熟的发展,而装配工艺设计过程由于其复杂性、经验性、模糊性,以及装配特征难以用参数形式化描述,在建立知识库时面临知识规则总结难、推理过程复杂、知识应用难等问题^[6-7]。当前虽然有一些学者建立了装配工艺知识库,但主要着重于知识库的建立,在知识库的应用方面也主要侧重于实例知识的应用,对于利用知识进行装配工艺决策目前还没有很好的解决方法。

本文将知识库建模与应用相结合,以知识库在工艺设计中的应用为向导,建立装配工艺知识库模型,从而使知识库能更好地服务于装配工艺设计。

1 装配工艺知识分类

建立装配工艺知识库的目的是将无形的知识转换为有形的工具,从而辅助装配工艺设计。因此,本文按照知识在装配工艺设计中的应用模式将知识分为3类,分别是装配工艺通用知识、装配工艺模板知识以及装配工艺决策元知识。

装配工艺通用知识,指在工艺设计中以辅助查看的形式辅助工艺设计的知识,主要包括工艺设计遵循的标准、规范、手册、原则等指导性和理论性知识,以及在工艺设计中总结的一些常见技术问题。

装配工艺模板知识,指在工艺设计中作为模板来进行快速引用或修改的知识,主要包括典型工艺实例、典型工艺片段、常用工艺操作、标准工艺术语等。

装配工艺决策元知识,指以知识推理的方式支持工艺决策的元知识。工艺决策元知识包括两个方面,候选知识域和规则推理域。候选知识域即知识基础数据库,包括工装资源库、标准件库、材料性能库等,是知识推理的数据基础。规则推理域是将规则知识表达为结构化的可推理的知识元,通过关联候选知识域得到待求解问题的可行解。规则推理域主要包括定位方法选择知识、装配连接工艺决策知识、制孔工艺决策知识、工装资源选择知识等。

2 装配工艺知识表达

知识表达是将知识表达为计算机能够接受并进行处理的数据结构。知识表达方法有产生式规则表示法、

* 国家 863 项目(2012AA040907)资助。

语义网络表示法、谓词逻辑表示法、面向对象表示法、人工神经网络表示法以及本体表示法等。各种知识表达方法均有其优越性但也有一定的局限性,针对以上3类知识各自的应用特点,本文采用不同的知识表达方法,既可以避免简单问题复杂化,同时也可避免复杂问题定义不完备。

装配工艺通用知识的特点是结构化程度低,主要用于知识索引,在内容上计算机识别程度低。因此采用产生式表示法,将索引结构作为IF项,知识内容作为THEN项。例如,对于定位方法知识索引的表达如下:

IF “定位方法”,

THEN “画线定位法、基准件定位法、装配孔定位法、装配型架定位法”

装配工艺模板知识的特点是具有一定程度的结构化,针对不同的知识内容具有不同层次的结构粒度。这类知识是通过多年实践经验积累,已形成固定工艺流程和套路或已形成典型模板,只需做部分修改的工艺方案。此类知识最终以工艺方案的形式呈现,涵盖装配工艺设计中的工艺、工序、工步等对象信息,因此采用面向对象的知识表达方法来进行装配工艺模板知识的表达。例如,对于工艺级模板知识的表达形式如下:

对象类: :=<class>[工艺模板]

对象属性: :=<attribute>[名称]

对象属性: :=<attribute>[适用条件]

对象子类: :=<sub-class>[机身工艺模板]

对象子类: :=<sub-class>[翼盒工艺模板]

装配工艺决策元知识的特点是高度结构化、知识粒度细、计算机识别程度高,具有完整的知识内部联系,可通过知识推理进行复杂决策问题的处理。这类知识需要在进行大量数据和业务逻辑分析的基础上,根据不同业务流程进行特定的知识表达处理,将原本文字描述的需要人用大脑去理解的知识表达为计算机可识别、可处理的知识元,从而支持工艺设计中的智能决策问题。由于业务流程包含候选知识域和规则推理域,本文采用面向对象与产生式相结合的混合型知识表达方法来进行装配工艺决策元知识的表达。例如对于铆接知识的表达形式如下:

对象类: :=<class>[铆钉]

对象属性: :=<attribute>[直径]

对象属性: :=<attribute>[是否沉头]

对象方法: :=<method>[规则 1]

规则 1: IF “是否沉头” = “是”

THEN “是否制窝” = “是”

对象子类: :=<sub-class>[半圆头铆钉]

对象子类: :=<sub-class>[平锥头铆钉]

3 面向应用的装配工艺知识库建模

知识库最终将结构化的知识以数据库的形态进行存储,但与传统数据库的区别在于知识库不仅包含大量简单事实,同时还包含规则和过程知识^[8]。本文根据知识在应用中的不同特点,对装配工艺通用知识、装配工艺模板知识以及装配工艺决策元知识分别建立知识库模型。

装配工艺通用知识应用模式是作为电子词典来快速查看,因此知识具体内容复杂与否并不是需要关注的重点,重点是知识的索引结构及其可扩展性。本文按照知识索引层和知识数据层两个层次来描述装配工艺通用知识,如图1所示。其中知识索引层包括知识编号、来源、名称等基本属性以及关键词、分类、层次等结构语义属性。知识数据层是对知识内容的具体描述,是存储装配工艺知识的最小单元。

知识索引层	唯一编号 知识来源 知识名称
	关键词 所属分类 层次结构
知识数据层	问题描述 产生原因 解决方案
	知识内容描述
	文档附件

图1 装配工艺通用类知识模型

Fig.1 Model of general knowledge in assembly process planning

装配工艺模板知识应用模式是作为模板进行快速引用,涉及到的知识范围较广,主要包括经验和实例知识,作为方案结果直接引用,并不关注因果之间的内在关系。此类知识的引用结果将直接表现为工艺设计的内容,因此用工艺设计信息模型结构即可容纳此部分的所有知识。由于一个工艺包含多个工序,每个工序又包含多个工步,每个工步又包括与其相关联的多个零件和资源,按照图2所示的模型结构,将装配工艺模板知识分为工艺层、工序层和工步层3个层次,模型中的箭头表示各层次之间的所属关系。每一层与装配通用知识模型类似,包括知识索引层和知识数据层。不同的是装配工艺模板知识模型各层次间具有父子结构,例如,工序层是工艺层的子层,通过关联父层的“唯一编号”属性继承父层的索引结构。以此方式组织的模型结构便于知识库快速检索,同时在装配工艺设计中也便于提供多层次多粒度的引用。

装配工艺决策元知识,在工艺设计中用于支持工艺决策,要求结构化程度很高并且知识间有复杂的关联

关系。工艺决策元需要根据不同的业务流程去建立相应的决策模型。每一个业务流程均包括两方面知识内容：候选知识域与规则推理域。以飞机装配工艺中典型的铆接工艺决策为例，铆接工艺决策的业务流程是：已知装配连接所使用的铆钉型号、直径、数量、长度，需要决策的结果是铆接完整的工艺，包括确定孔位、定位夹紧、制孔、制窝、制倒角、去毛刺、放钉、施铆、防腐处理等详细工艺信息。根据业务流程建立如图3所示的知识模型，其候选知识域包括标准铆钉库、铆接工艺方案

库、孔加工方案库，每一个子库的结构类似装配工艺通用知识模型，包括知识索引层和知识数据层。规则推理域包括铆钉与所对应的铆接工艺方案的关系、铆钉与所需制铆钉孔的关系，以及孔加工过程与加工余量的关系。候选知识域与规则推理域通过内置产生式规则进行关联。

4 应用验证

本文构建知识库的出发点是面向应用，配合装配工艺设计系统进行快速工艺设计。在装配工艺设计系统中，提供了“知识检索”、“模板引用”及“工艺决策”3种知识库应用辅助工具。

“知识检索”可支持装配工艺通用知识的应用。利用快速检索的方式为工艺设计人员提供指导性和规范性知识。“模板引用”可为工艺设计中多个层次工艺模板的快速引用或修改提供支持，减少工艺人员大量重复性劳动，提高工艺设计效率。“工艺决策”是装配工艺决策元知识的应用，主要用于装配工艺设计中一些典型业务流程的自动决策。以采用HB6298-5×10连接件的飞机铆接工艺设

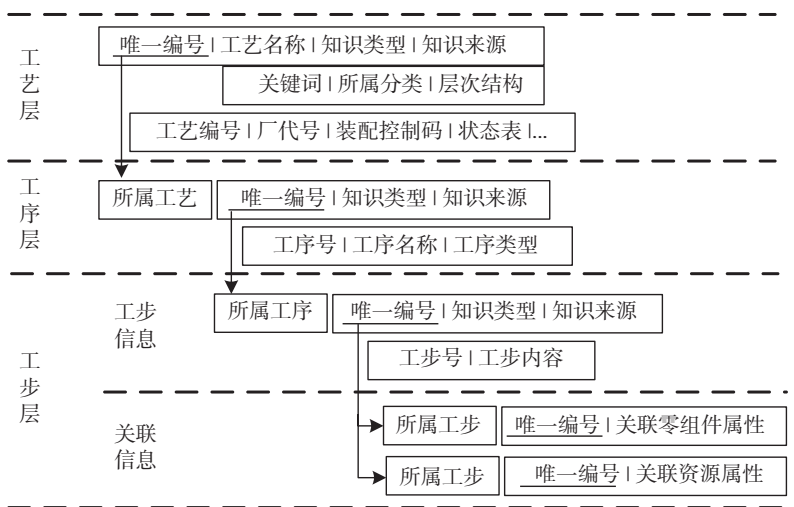


图2 装配工艺模板知识模型

Fig.2 Model of template knowledge in assembly process planning

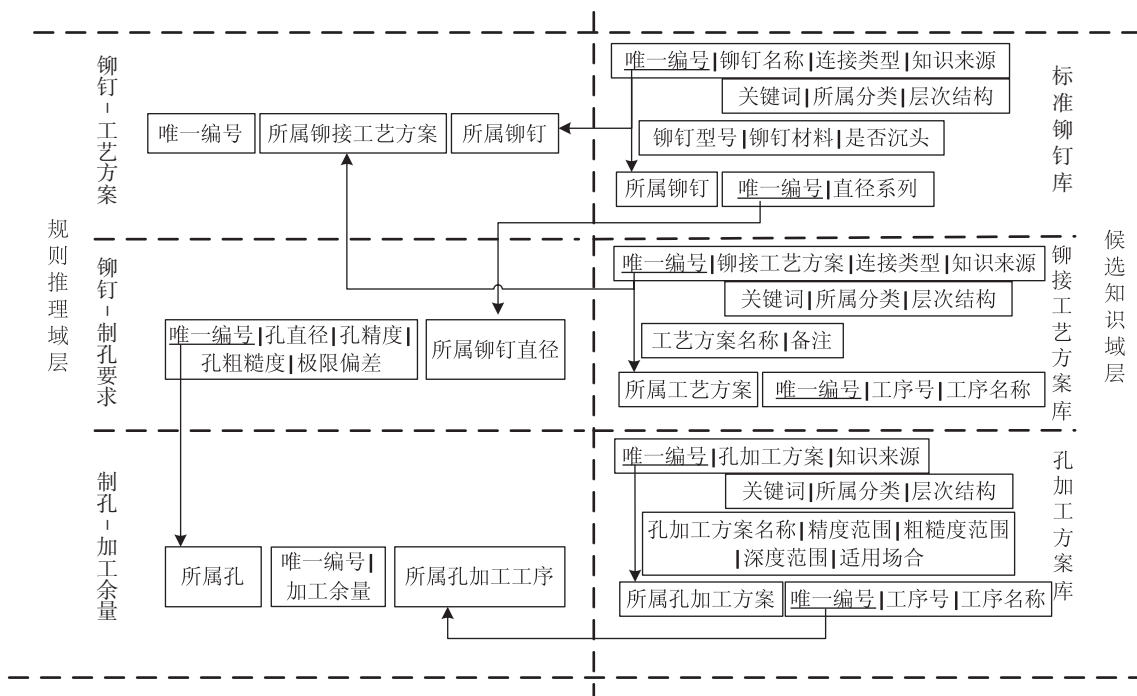


图3 铆接工艺决策元知识模型

Fig.3 Model of meta-process of decision-making knowledge in riveting process planning

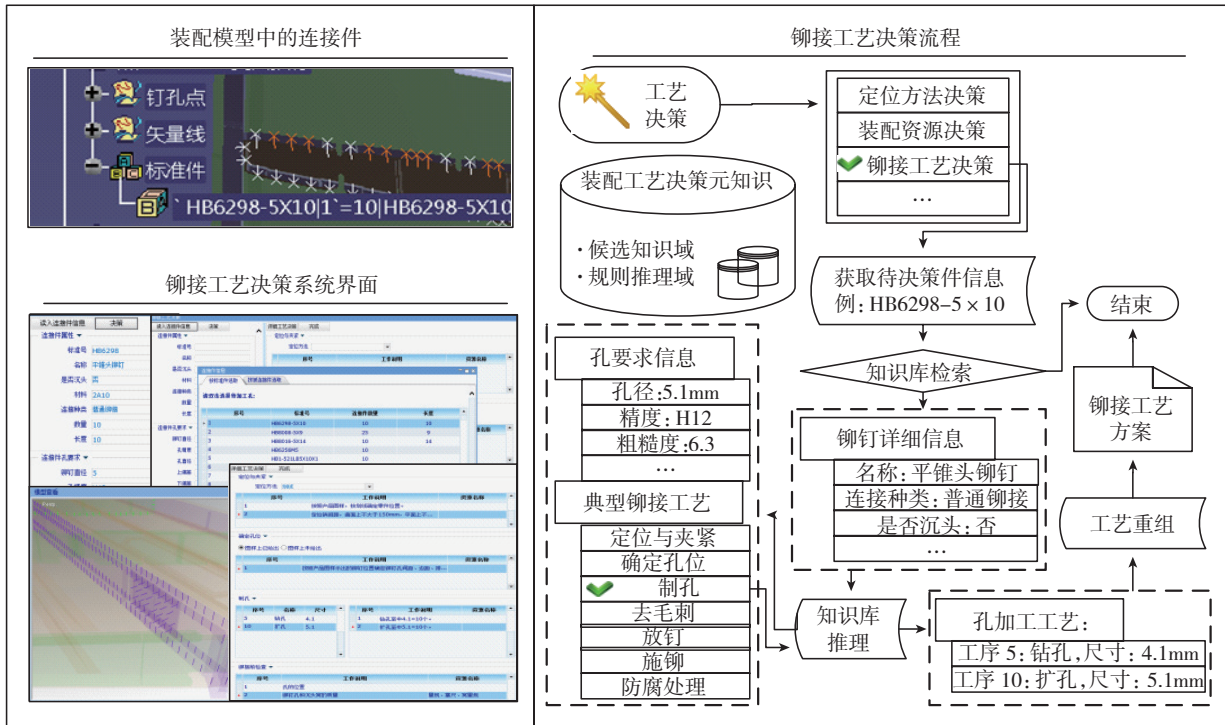


图4 铆接工艺决策元知识应用

Fig.4 Application of meta-process of decision-making knowledge in riveting process planning

计决策为例,其系统界面及应用流程如图4所示,决策过程如下:

步骤1: 从待装配模型上得到铆钉型号、铆钉长度及铆钉数量分别为HB6298、5mm及10;

步骤2: 知识库检索得到铆钉名称、连接种类及铆钉材料分别为平锥头铆钉、普通铆接及2A10;

步骤3: 知识库推理得到铆接工艺为定位与夹紧→确定孔位→制孔→去毛刺→放钉→施铆→防腐处理;

步骤4: 知识库推理得到步骤3中各工序详细工艺,以制孔为例,得到所需制孔的孔径、精度及粗糙度分别为5.1mm、H12及6.3;制孔工艺方案为钻孔至 $\phi 4.1\text{mm}$ →扩孔至 $\phi 5.1\text{mm}$;

步骤5: 工艺重组得到最终铆接工艺方案为定位与夹紧→确定孔位→钻孔→扩孔→去毛刺→铆接前检查→放钉→施铆→铆接后检查→防腐处理。

5 结束语

本文从知识应用角度出发,将复杂的、模糊的、隐性的装配工艺领域知识进行分析和梳理,针对检索、引用和决策这3类应用,相应地建立装配工艺通用知识模型、装配工艺模板知识模型以及装配工艺决策元模型,完整地描述了各类知识的索引结构及涵盖内容,便于知识的共享和重用。所建立的知识库通过在装配工艺设

计系统中的实际应用进行验证,表明所建立的知识库模型是有效的。对推进知识在装配工艺设计中的应用具有一定的现实意义。

参考文献

- [1] Qiao L, Han F, Bernard A. A unified assembly information model for design and manufacturing//Global product development. Berlin: Springer, 2011.
- [2] 张永利,王庆文,郭明哲. 基于工艺过程的工艺知识建模方法研究. 中国制造业信息化,2010(9): 1-4.
- [3] 韩峰,乔立红,胡佩伟. 基于工艺元信息的装配工艺过程设计. 计算机集成制造系统,2010(12): 2545-2551.
- [4] Hsu Y, Tai P, Wang M. A knowledge-based engineering system for assembly sequence planning. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2011, 55(5-8): 763-782.
- [5] 郭亚飞,侯俊杰,石胜友. 面向典型宇航产品的工艺知识库研究. 计算机科学,2013(5): 189-192.
- [6] 乔立红,董薇. 基于本体的工艺设计语义检索与决策技术研究. 航空精密制造技术,2010(2): 45-49.
- [7] 丘宏俊,陶华,高晓兵,等. 飞机装配工艺设计知识本体. 西北工业大学学报,2007(1): 32-36.
- [8] 陈文伟,陈昇. 知识工程与知识管理. 北京: 清华大学出版社, 2010.

(责编 小城)