doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2021.02.038

联合收获机知识组织与知识库系统研究

刘宏新　李金龙　郭丽峰　张光甫
(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 针对联合收获机知识缺乏系统化组织与分类、难以在设计时高效获取并应用的问题,应用装备谱系及谱系拓扑图形式对联合收获机知识进行层次化组织;按照联合收获机智能化设计实际应用需求,对知识库系统功能模块进行架构分析;分析了农机装备设计知识的表现形式,综合利用产生式规则和框架表示的混合表示方法对设计过程进行分析和表达,建立了设计体系。以 Visual Studio 2015 平台为开发工具,在.Net 环境下,应用 ADO.Net 技术、CATIA 二次开发技术及 SQL Server 数据库,将联合收获机设计知识、参数化模型等数字化资源融和,进行组织管理,构建了联合收获机知识库系统。通过人机交互的方式,将知识表达形成的设计体系系统化,应用模糊查询方法、推理机和 ADO.Net 技术实现系统中知识的查询、推理及编辑功能,并将知识推送的结果传递给关联的参数化模型驱动,在不同需求下快速构建模型,实现了知识的高效获取与应用,提高了设计效率,为联合收获机零部件设计提供了一种通用方法。系统测试表明,该系统具有可行性和有效性,适用于联合收获机系列产品的开发。

关键词: 联合收获机; 知识库系统; 谱系拓扑图; 知识分析与表达; ADO.Net; 人机交互
中图分类号: S225.3; TP311.1　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2021)02-0381-13　　**OSID**:

Knowledge Organization and Knowledge Base System of Combine Harvester

LIU Hongxin　LI Jinlong　GUO Lifeng　ZHANG Guangfu
(*College of Engineering*, *Northeast Agricultural University*, *Harbin* 150030, *China*)

Abstract: According to the lack of systematic organization and classification of combine harvester knowledge, it was difficult to obtain and apply it efficiently in design. The concept of equipment pedigree and pedigree topology map was used to manage the knowledge and construct the knowledge base system of combine harvester under the traction of the actual application demand of intelligent design of combine harvester. Combined with the characteristics and forms of agricultural machinery design knowledge, the design process was analyzed and expressed by using the hybrid representation method of production rules and frame representation, and the design system was established. It used Visual Studio 2015 as the development tool, under the environment of .Net, using ADO.Net technology, CATIA secondary development technology and SQL Server database, the combine harvester design knowledge, parametric models and other resources were integrated and organized to build the combine harvester knowledge base system. By means of human - computer interaction, the design system was systematized, and the functions of knowledge query, reasoning and editing were realized by using fuzzy query, inference engine and ADO.Net. In addition, system transferred the pushed knowledge to the associated parametric models. The parameters of the related parametric models were adjusted, the models under different needs were quickly built, the design time was cut down and the design efficiency was improved. The knowledge base system could save the time of knowledge acquisition and analysis through case analysis, the system was used to query, reason, push and transfer the knowledge to the models for driving. This method can realize the efficient application of knowledge, enhance the inheritance and reuse of knowledge, improve the design efficiency, and provide a general method for the design of combine harvester parts. It was applicable to the requirements of the development of combine harvester series products, and establish the basis for the construction of a special intelligent design platform for combine harvester.

Key words: combine harvester; knowledge base system; pedigree topological map; knowledge analysis and expression; ADO.Net; human - computer interaction

收稿日期: 2020-02-27　修回日期: 2020-04-04
基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0700100)
作者简介: 刘宏新(1971—),男,教授,博士生导师,主要从事农机数字化设计与数字资源管理研究,E-mail: Lcc98@neau.edu.cn

0 引言

目前,我国农机装备产品开发主要存在仿制多、创新少、投产上市速度慢等问题,直接影响我国农机装备的设计水平[1],很难与国际先进的农机产品形成竞争。以先进的设计方法支持农机装备的研发过程,同时利用基于知识的设计方法的数字化设计系统对提高我国农机装备的设计水平、提升本土农业装备制造企业的国际竞争力具有重要意义,这也是农机设计智能化的重要途径[2-3]。

农业机械设计一般先通过经验获得设计参数,之后进行整机设计[4]。在传统研发模式下,联合收获机设计周期长、效率低、设计过程复杂且困难,在很大程度上依赖于设计人员的工作经验,但多年的设计经验和积累的设计知识并未进行有效的收集、归纳和整理[5-6]。在这种模式下,知识很难在新产品开发中得以重用和高效运用,导致在联合收获机设计过程中设计人员经常重复性查询知识,增加了开发成本,降低了设计质量,延长了设计时间[7]。因此,建立知识库系统、提高知识的集成化应用程度、加强设计知识的高效获取和设计知识的系统化,能够减少概念设计过程中大量的重复性工作,有效缩短新产品研发周期,对联合收获机的研制与开发具有重要意义。

国内外学者对知识库系统进行了相关研究。JUAN 等[8]运用数据库类型存储库和人工查询模式的独立规则库开发了虚拟银行数据知识库系统,利用系统的体系结构,用户可以查询并获取存储的数据,为研究知识库系统中知识的获取方法开拓了思路。JAMES 等[9]对知识库系统的一致性整合进行了研究,提出用框架表达知识库中的各种运算符,为研究知识库系统中知识的表达方式提供了解决方案。YANG 等[10]研究了知识库系统的结构问题,认为系统除了存储知识还应该具备推理规则,基于算法可以挖掘系统中的知识,增强知识库系统中知识的重用,实现系统中知识的运用。LI 等[11]对知识库系统的关系结构进行了论述,通过理论分析证明,知识库系统中知识具有相依性,其功能结构相互依赖,这对知识库系统架构具有重要意义。丁志东[12]针对我国汽车工业的发展需求,对整车设计所涉及的相关知识进行了初步整理和分析,从整车知识库技术内容需求出发,提出相应的知识库构建路线,为知识库系统的构建提供了思路。曾福胜[13]针对整车零件设计信息量大且种类繁多的问题,研究了支撑产品设计知识管理的知识整合技术,有效解决了知识总量大且重用率低的问题。王驰等[14]研究了转向器的总体结构和其设计知识整合技术,构建了转向器知识库系统,将知识整合技术和参数化设计方法融合到系统中,通过实例验证完成了机构参数化设计,缩短了设计时间。李治[15]基于知识工程理论研究了产品的设计知识模型,并在此基础上开发了一套具有数字化设计能力的产品设计系统,通过该系统可以初步构建设计者所需的知识模型,提高了设计效率。国外知名农机企业应用多种信息技术手段和开发工具,纷纷建立了产品研发体系和知识积累平台[16],基于开发工具使用基于知识的设计方法是联合收获机设计智能化的重要途径,将产品设计知识整理形成统一的知识框架体系,可以辅助设计人员完成产品设计过程。在进行联合收获机的总体布置与零部件结构设计时,涉及参数较多,且对设计者的专业性要求较高[17-18]。在设计过程中,设计者需要查阅大量的公式、手册、行业标准等设计资料,收集、整理全部知识,工作效率较低。目前,对联合收获机设计中所涉及的参数、公式、标准、计算流程等知识还没有整理形成统一的知识框架和设计体系,进而通过知识库系统推理机制辅助完成设计过程。

针对上述问题,本文应用装备谱系层次划分方法及谱系拓扑图对联合收获机知识进行组织;按照智能化设计需求对知识库系统进行架构分析;将农机装备设计知识特点与设计过程深度结合,应用混合知识表示方法进行表达,形成知识框架体系。通过建立联合收获机知识库系统实现设计过程中知识的存储管理、高效获取与应用,从而解决设计中的问题,体现智能化设计理念,将联合收获机知识集成化、系统化,提高知识的继承性与重用性,形成通用的设计体系,为研究此类问题提供一种通用的方法。

1 联合收获机谱系图构建

1.1 谱系层次设置与模块划分

装备谱系研究大多应用在产品的方案分析上[19],而对于农机装备设计领域知识资源系统的分析与规划还处于起步阶段,近年来,本课题组一直致力于农机装备智能化设计技术的研究,提出利用装备谱系分类与谱系拓扑图的形式及聚类分析方法[20]为数字化资源、装备知识资源提供高效系统的组织模式,联合收获机属于复杂的农业机械装备,利用谱系层次设置及拓扑图形式可以将联合收获机复杂的知识资源系统化组织。

联合收获机零部件种类繁多,其结构相互关联,综合形成一个复杂的体系,为了更好地实现联合收获机零部件设计中的知识资源表达,同时为知识库

系统中设计知识的存储与查询提供清晰的目录及路径，需要对联合收获机谱系进行基础性的研究，谱系层次设置是构建联合收获机谱系拓扑图的关键，是将联合收获机设计知识层次化组织的基础。按照知识库系统的层次化设计理念，结合联合收获机领域知识和相关特点，采用关系继承性的树状结构以及自顶向下的方法将联合收获机结构进行划分，形成谱系层次结构，谱系层次结构中子模块继承父模块所有属性，按照零部件的功能与类型进行划分，如图 1 所示。以联合收获机分类方式划分基础层次结构，运用与基础结构相对应的框架式表示方法将联合收获机按照零部件结构类型与零部件功能进行逐层分解，完成谱系层次结构的设置。

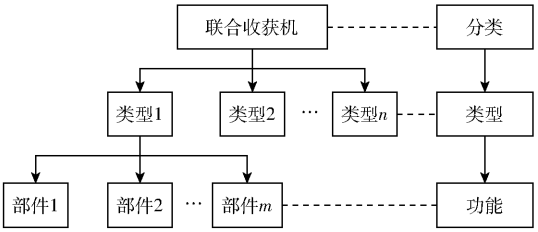


图 1　谱系层次结构

Fig. 1　Pedigree layer structure

根据装备设计产品零部件之间的功能要求差异，其功能相关性也不同，从满足产品功能要求的角度出发[21-22]，对联合收获机零部件间的辅助功能联系的相关性进行分析，同时根据零件行业标准和农业机械设计手册的实际要求以及各个零部件自身功能相对性，将联合收获机谱系层次结构中部件组成结构分为专用件模块、通用件模块及标准件模块，如图 2 所示。其中传动件、轴承、连接紧固件等标准件零件在联合收获机中与其他零部件相关性较弱，可以批量化生产使用，因此将它们归为标准件模块；脱粒装置为联合收获机的核心零部件，同时部分机型的割台与中间输送装置也存在专用性，根据不同的机型选择不同的装置类型，需要对其进行专门研发与创新设计，因此这 3 个模块中部分零部件划分为专用件模块；将其余零部件按照功能划分为割台模块、脱粒模块、中间输送模块、输送模块、清选模块、动力模块、驱动模块和辅助模块，在设计种类不同或同种类不同型号联合收获机时，这些模块部件可以通用互换，满足设计的功能需求，将其归类于通用件模块。

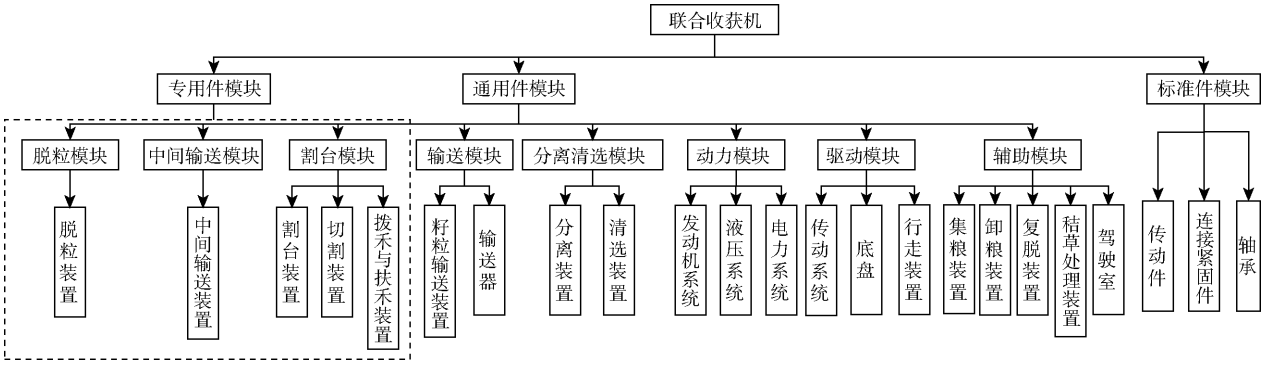


图 2　结构功能模块划分

Fig. 2　Structure and function module division

1.2　谱系拓扑图

根据联合收获机谱系层次设置和零部件结构功能模块划分结果，将获取的联合收获机知识进行系统化整理，分析联合收获机零部件类型与功能属性，构建联合收获机谱系拓扑图，如图 3 所示，以联合收获机类型为基本单元，具有与谱系层次设置对应的层次结构，将联合收获机知识具体分解为多个模块，谱系拓扑图的建立不仅为联合收获机知识库系统的知识查询提供路径支持，同时可作为联合收获机知识库系统的目录结构，将联合收获机知识层次性组织起来。

2　知识库系统体系架构

联合收获机知识库系统是联合收获机智能化设计平台的基础，如图 4 所示，联合收获机设计时需考虑设计方法、功能结构要求、整机部件设计需求等，将相关 CAX 工具有效融合，按照技术区域分别设置了模型库、数据库、虚拟现实、知识库系统等模块，根据设计要求获取知识并表达形成设计体系后与知识库系统交互，知识库系统按照设计需求将推送的知识传递给模型库，进行模型调用及参数化驱动变型，同时通过数据库完成知识的双向传递，各模块之间彼此关联，相互协作，知识库系统在其中发挥至关重要的作用，对知识库系统内部组织单元进行架构分析。

(1)知识浏览与查询：以谱系拓扑图为索引路径对知识库系统中的知识进行浏览，并应用模糊查询方法查询出设计要求相匹配的知识，提高用户的查询效率。

(2)知识推理与推送：一方面通过将公式规则

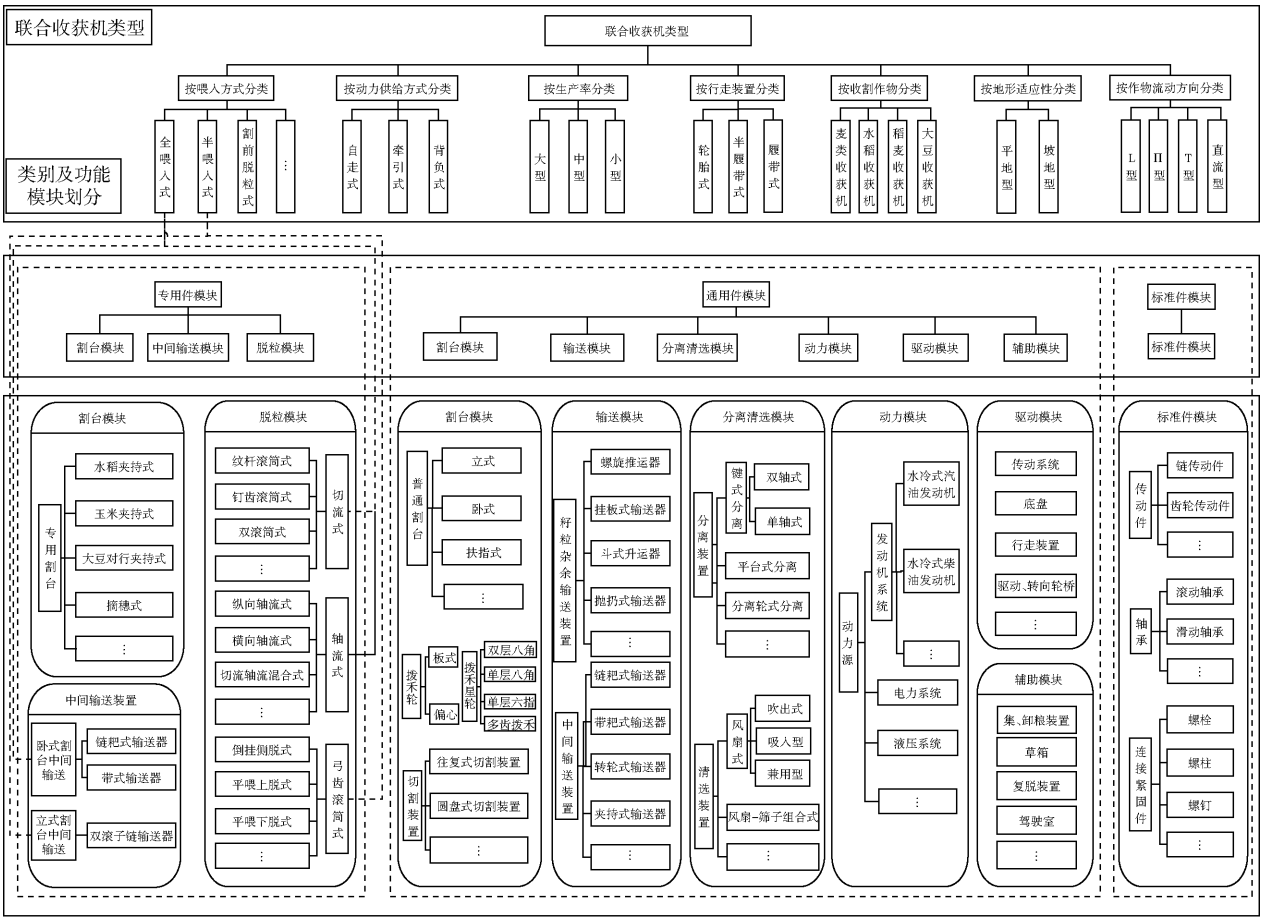


图 3 谱系拓扑图

Fig. 3 Pedigree topological map

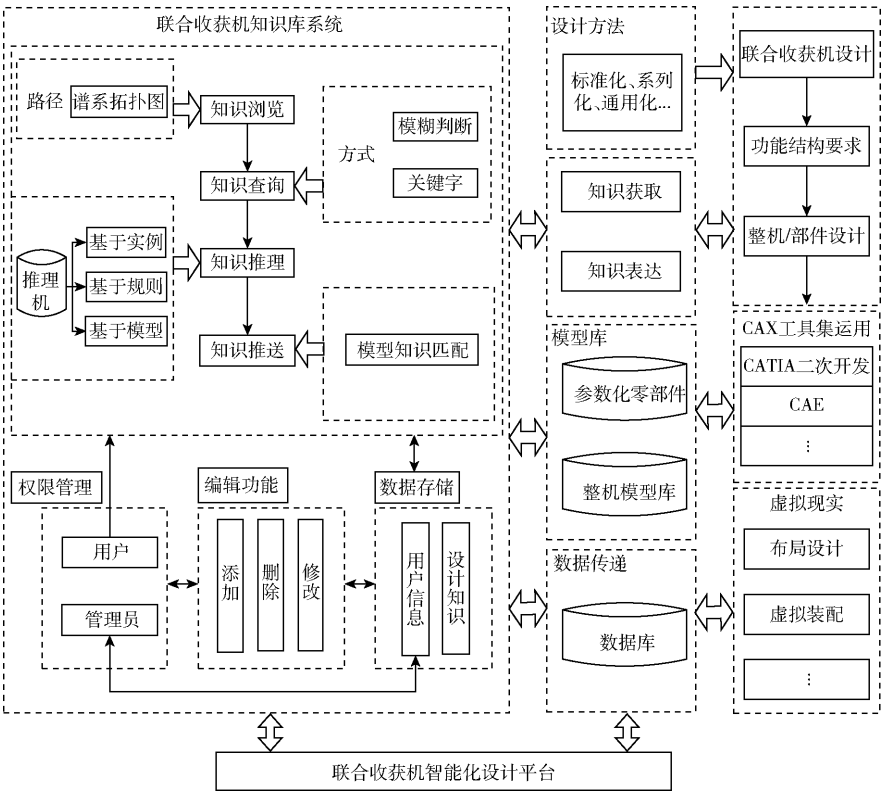


图 4 系统模块架构

Fig. 4 System module architecture

转换为程序，利用基于规则的推理方法解决问题，可以提供给用户更加高效的求解过程。另一方面推理机不断与知识库系统进行交互，用户根据设计需求通过系统获取满足设计要求的知识和推理结果，并将其传递到已关联的参数化模型设计过程中。

(3)知识存储：将联合收获机知识以数据表的形式在 SQL Server 数据库中进行有效的组织与存储，应用 ADO.Net 技术实现知识库系统与数据库知识的双向传递，缩短知识再利用的时间，便于知识的组织管理。

(4)编辑功能：随着联合收获机知识的不断更新，知识库系统应该具备知识的增加、删除、修改的编辑功能，实现系统中知识更新的动态过程，提高知识的集成化程度及获取速度。

(5)权限管理：主要分为用户和管理员权限。用户可以对系统中的知识进行添加、修改、删除以及查询等功能；管理员对系统使用权限进行管理。在系统登录界面通过输入账号密码的方式区别两者，即使人员发生变动，也不会使系统中的知识丢失，有利于新用户对知识进行有效学习，便于知识的随时利用。

通过人机交互的方式，由计算机智能地根据用户需求调用资源进行设计[23-25]，知识库系统根据用户需求获取系统中的知识，将查询及推理的知识提取，进行模型知识的匹配，然后从模型库中调用参数化模型，融合 CATIA 二次开发技术与建模过程，进行参数化模型的设计，提高模型的灵活性、适应性和可重用性，高效获得满意的知识与模型，提高设计效率，避免设计失误，从而实现知识的高效获取与应用，体现智能化设计理念。

3　农机装备设计知识分析与表达

3.1　设计知识分析

联合收获机属于典型的农机装备，只有充分考虑农机装备设计领域内知识特点，才能够对联合收获机进行分类与表达，形成设计体系辅助完成设计过程。农机装备设计知识种类繁多、知识信息总量大、形式复杂，不但需要考虑加工装配、机械干涉等因素，还需要考虑作业环境、作物种类、种植模式，涉及整机与零部件间设计需求、功能、结构等诸多因素。结合农机装备设计过程及知识的表现形式，经总结农机装备设计知识有以下特点：

(1)模糊性：农机装备的工作条件复杂且作物具有时空变异性极大的材料力学特性，它们无法确切分析，通过建模以及现有的虚拟仿真分析软件无法确定边界条件，只能得到模糊数据以及相关参数的取值范围。同时农机装备设计过程中零部件作业的性能要求等也存在模糊性，没有明确的界限，例如脱粒效果差和清选效果差，有些状态没有明确的界限划分。

(2)多变性：农机装备设计具有个性化强、定制要求多的特点，不但需要考虑整机及内部零部件之间具有的装配尺寸约束关系、动力输出匹配关系、运动仿真约束前提等诸多限制关系，在设计过程中还需要根据农机装备复杂多变的作业环境、作物种类的多样性、作业季节以及种植模式等因素，这些因素对应的设计知识彼此存在着联系，需要根据多变的因素针对性分析后对农机装备进行配置设计。

(3)多样性：农机装备在设计时涉及整机与内部零部件间配置、功能、结构等诸多设计要素，具有结构设计和变型设计频繁的特点，在使用不同的建模软件、虚拟仿真软件、分析方法进行设计时，其对应的农机装备设计知识以函数公式、表格、叙述性规则、图像及模型等多种形式体现在设计的各个阶段，种类复杂、形式多样。

3.2　设计知识分类

根据谱系拓扑图中对联合收获机功能结构的划分，结合农机装备设计知识的特点和表现形式，对其进行分类。将联合收获机设计知识划分为实例类知识、规则类知识、参数类知识、资料类知识和经验类知识 5 类，如图 5 所示。

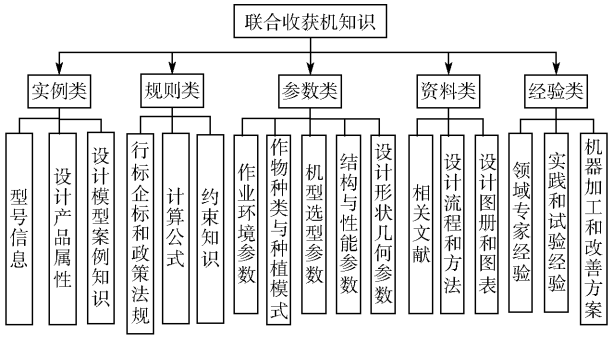


图 5　联合收获机知识分类

Fig. 5　Classification of combine harvester knowledge

实例类知识是指联合收获机装备的设计任务和需求、属性、设计方案等。分析并提取与设计需求相似的已批量化生产的联合收获机机型的实例类知识作为当前设计方案的参考，然后再根据试验结果修改方案，实例类知识对于联合收获机的设计必不可少。

规则类知识是指联合收获机设计过程中涉及的公式、参考的行业标准，国家标准以及国家政策法规等。这些知识大多以数据表形式储存在知识库系统中，用于解决设计过程中的问题，规则类知识的数量

直接影响到知识库系统进行基于规则推理的能力。

参数类知识是指联合收获机设计领域的产品实例的性能参数、作业环境参数以及内部零部件的几何参数等;联合收获机零部件设计时的结构参数、选型参数、性能参数以及零部件的几何形状参数都属于该范畴。

资料类知识是指联合收获机设计的产品说明书、设计流程、设计图册等;同时构建联合收获机知识库系统的方法、使用说明书、操作流程图等都属于资料类知识,以图表形式储存在知识库系统中。

经验类知识是指农机装备设计领域专家的经验、田间试验的方法和试验方案以及调研获取的知识;农业机械零部件在对各设计参数初步拟定、详细尺寸设计、结构分析以及设计图纸的表达时,存在的一些可行及有效、经过实践证明的知识是经验类知识的主要来源。同时在进行联合收获机关键部件的工厂加工时,工厂技术人员给予的修正与建议方案也可归于经验类知识范畴。

3.3 设计知识表达

设计知识表达是指使用合适的知识表示方法将农机装备设计知识形成框架设计体系,为知识库系统服务,它不仅决定了知识的应用形式,还影响知识库系统的推理机制。知识的表达一直是知识工程研究领域的热点,在不同的应用领域内,提出了多种知识表示方法,每种表示方法都有自己的特点和局限性。对同一种知识可以用不同的方法进行表示,但表示的方法不同效果也不同。因此,在选择知识表示的方法时应考虑以下几个因素[26]:①能够将设计知识进行有效的表达。②表达的知识应易懂、易读,便于知识的推理。③充分结合领域内装备的设计过程。④利于领域内知识的共享与应用。

根据设计知识分类结果并结合农机装备设计知识特点,应用面向对象技术[27]将结构化明显的框架表示方法和逻辑性较强的产生式规则表示方法相互融合,将农机装备设计过程中涉及的知识属性和特征封装在框架结构中,使农机装备设计知识的表达清晰明了,如图 6 所示。将农机装备的设计需求、功能目标和结构组成以框架表示方法进行表达,层次清晰;之后具体对内部零部件结构进行设计,通过分析零部件的设计过程,从设计的零部件功能、设计要求和结构设计特点来确定设计参数,利用产生式规则表示方法的思想,已知初始设计参数及方法函数、标准规范等,通过建立知识模型,利用规则函数等推理得出需要的设计参数,此方法可以高效地实现对农机装备设计知识的表达。

联合收获机属于典型的农机装备,应用此方法

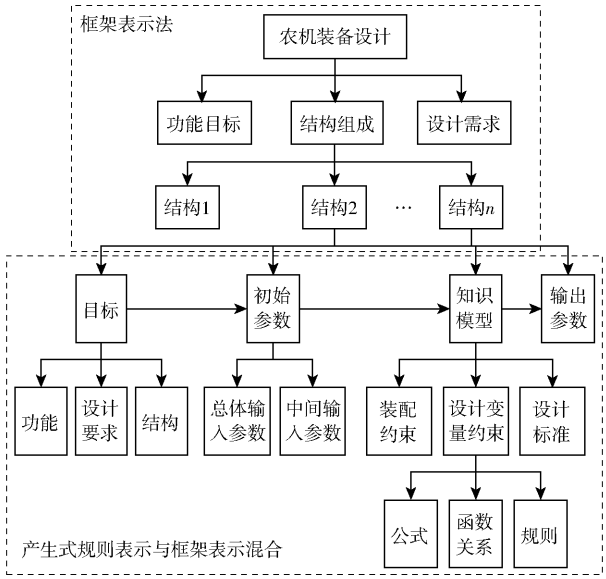


图 6 混合表示方法

Fig. 6 Hybrid representation method

对联合收获机零部件设计知识进行表达,纹杆滚筒式脱粒装置是国内外谷物联合收获机最常配备的关键部件,应用最为广泛[28]。以纹杆滚筒式脱粒装置的设计过程为例,纹杆滚筒式脱粒装置的工作性能受到许多因素影响,如谷物的喂入方式、凹板长度、凹板包角、滚筒直径、纹杆数、凹板间隙、滚筒速度、喂入速度以及作物含水率、含杂率等。在其设计过程中,根据这些因素对脱粒过程的影响,正确选择和确定其结构参数。纹杆滚筒式脱粒装置的结构参数包括结构设计开始时已知的结构参数或用户要求的参数、零部件装配关系确定的参数以及标准件的尺寸系列数据。将设计知识进行整理,应用混合表示方法将纹杆滚筒式脱粒装置的设计功能、要求、结构组成及关键部件设计知识属性特征封装在一起,形成知识框架及设计体系,如图 7 所示,其中总体参数如作物种类、喂入量等,辅助参数如作物性质系数等,输出参数如滚筒长度等共同决定脱粒装置的设计目的与功能,这些知识来自农机企业的产品目录、设计手册或标准等,经收集整理及分类存储在知识库系统中通过人机交互的方式,进行知识浏览、查询、推理获取,应用混合表示方法可以将联合收获机零部件设计知识进行有效表达,并建立通用的零部件设计体系,形成知识库系统的推理机制。

4 系统中知识存储与应用方法

4.1 数据库连接

以 Visual Studio 2015 作为开发工具构建联合收获机知识库系统,应用 SQL Server 数据库与其建立接口模块的形式进行两者的协调工作,实现知识的组织管理。在.NET 环境下知识库系统本身不具备

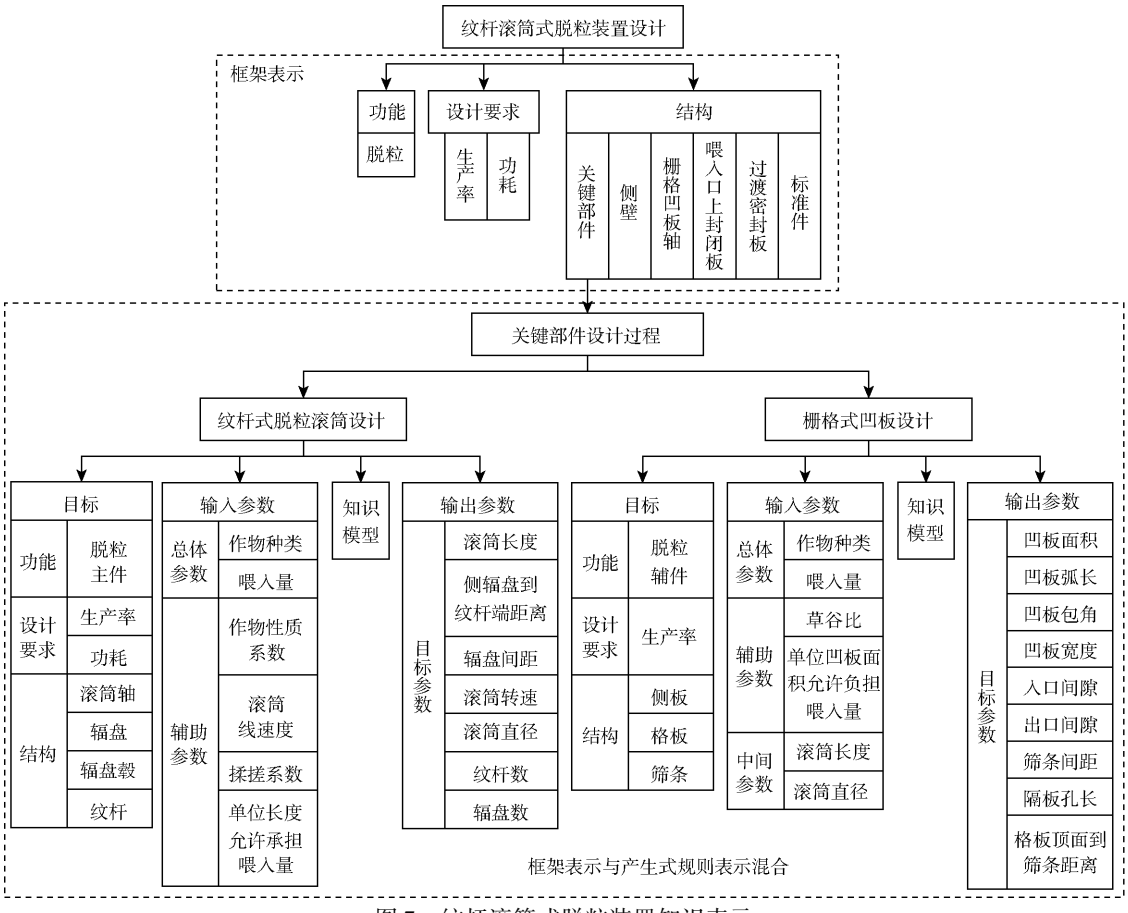


图 7　纹杆滚筒式脱粒装置知识表示

Fig. 7　Knowledge representation of grain rod drum threshing device

对 SQL Server 数据库进行操作的功能，它对数据库的处理是通过 Microsoft ActiveX Data Objects. Net (ADO.Net)实现的，应用 ADO.Net 技术[29]通过程序关联存储在 SQL Server 数据库的知识，并在系统中以交互界面形式来呈现。ADO.Net 主要包括以下 4 个对象，如表 1 所示。

表 1　ADO.Net 对象与功能

Tab. 1　ADO.Net objects and functions

对象	功能
Connection	用来建立与数据库的连接
Command	用于检索、插入、删除或修改数据源中数据的 SQL 语句或存储过程
Datareader	以只读的形式逐条从数据库中读取数据
DataAdapter	将数据从数据库读取到数据集并更新数据库

ADO.Net 包含不同类型的数据提供程序，本文在.Net 环境下通过程序编辑与 SQL Server 数据库建立连接，实现数据库与联合收获机知识库系统中知识的双向传递，应用 ADO.Net 技术进行数据库配置连接的关键程序如图 8 所示。

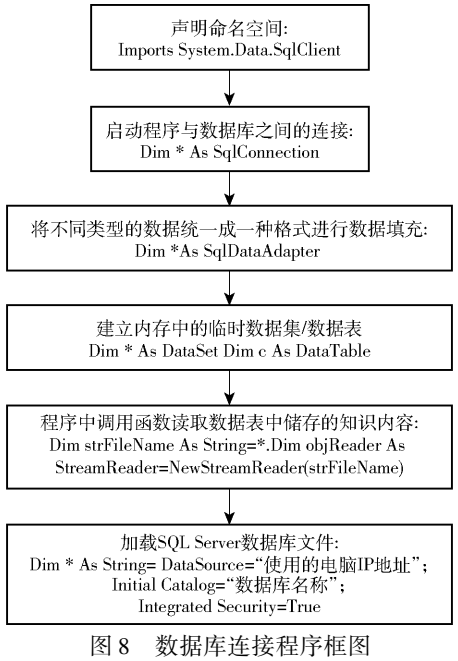


图 8　数据库连接程序框图

Fig. 8　Database connection diagram

4.2　知识存储

知识库系统中的知识是以数据表的形式存储在 SQL Server 数据库，通过 ADO.Net 技术将两者进行关联后，实现知识的双向传递。其中数据表的列属性包括字段名、字段数据类型、字段长度等，这些属性在创建表时被确定，数据表命名方式是以谱系拓扑图与联合收获机设计知识分类结果为依据，图 9 为联合收获机标准件模块知识存储形式示例。

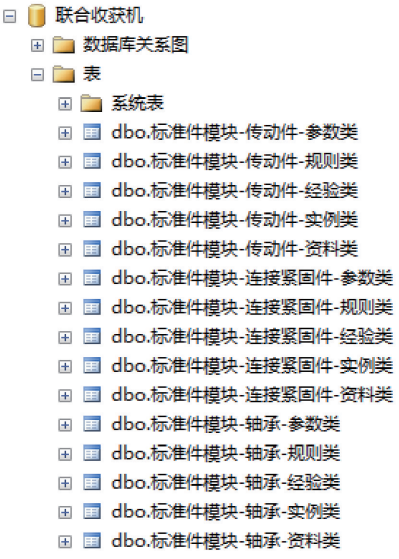


图 9 数据表命名

Fig. 9 Data table naming

4.3 知识查询

模糊查询是指通过使用具有模糊特征的关键词对系统中的知识进行查询,提高查询的全面性[30]。基于此理论,本文应用关键字定位及模糊判断的模糊查询方法对联合收获机知识库系统中的知识进行查询,其中关键字定位是指用户根据设计需求在系统中输入知识的关键字进行匹配定位查询;模糊判断是指在用户经常遇到不确定具体数值,只能大概明确范围时通过程序编辑设置条件,缩小查询范围,提高查询效率。知识查询过程应用关键程序如图 10 所示。

4.4 编辑功能

编辑功能包括在知识库系统中对知识进行添加、删除与修改等,用户可以根据设计需求应用知识的编辑功能实现对新知识的高效获取与再学习的过程。知识编辑过程分别使用 Insert、Delete、Update 的 SQL 语句,并编辑对应限制条件实现知识的增加、删除和修改功能,应用关键程序如图 11 所示。

5 系统技术集成与测试

5.1 交互界面设计

人机交互界面将人的思维方式与计算机的运作方式相互转换,以实现人与计算机之间的动作的双向传递,首先交互界面的设计需要起到智能引导的作用,提高设计效率与准确性。联合收获机知识库系统登录界面如图 12 所示,包括用户类型、密码及用户名选项。

知识库系统主界面如图 13 所示,根据知识库系统的模块架构,主界面包括 5 部分,即知识浏览、知识查询、知识存储、知识推送和权限管理。



图 10 知识查询程序框图

Fig. 10 Knowledge query block diagram

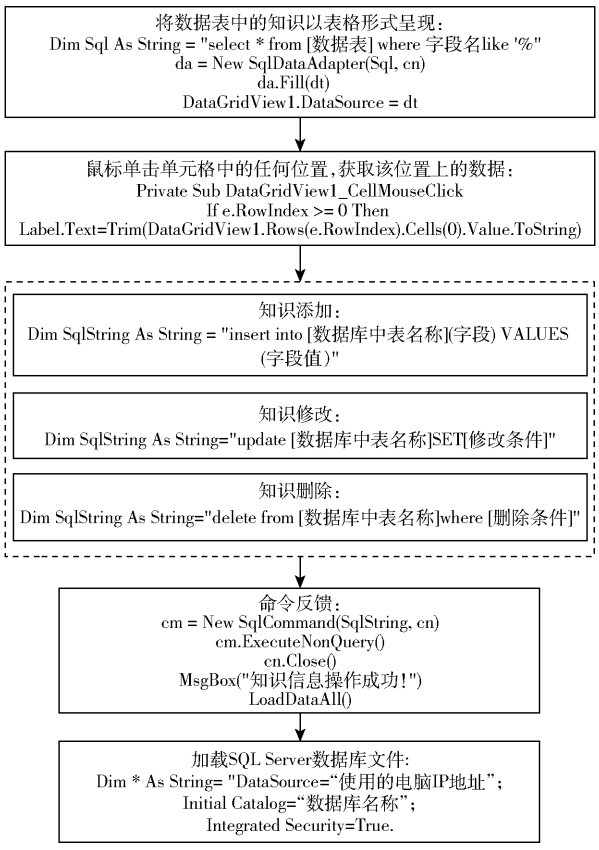


图 11 编辑功能程序框图

Fig. 11 Editing function block diagram



图 12　系统登录界面

Fig. 12　Interface of system login

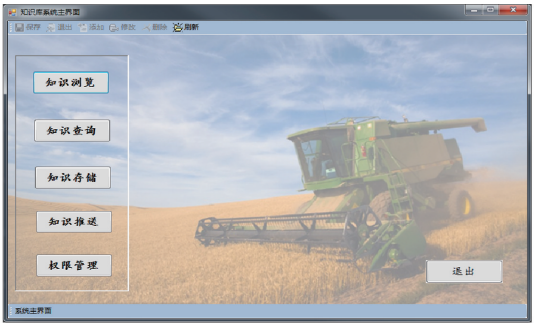


图 13　系统主界面

Fig. 13　Interface of system start

知识浏览界面如图 14 所示，根据谱系拓扑图对知识库系统的知识目录结构进行设置，在该模块下用户可以对系统中存储的知识进行浏览；随着知识的更新，管理员对系统知识结构进行补充和更新。



图 14　知识浏览界面

Fig. 14　Interface of knowledge browsing

知识查询界面如图 15 所示，用户在该模块下应用模糊查询方法对系统中知识查询，同时进行知识的添加、删除和修改等功能完成知识的再学习过程，并应用 ADO.Net 技术将新编辑的知识同步更新并储存到知识库系统中。

知识存储界面如图 16 所示，在该模块下根据联合收获机的知识分类结果对新知识进行存储。

知识推送界面如图 17 所示，采用人机交互的方式，结合知识表达形成的设计体系融合系统推理机制，利用辅助对话框形式选取设计的初始参数，对储存的知识进行查询、推理，将推理结果和获取的满足

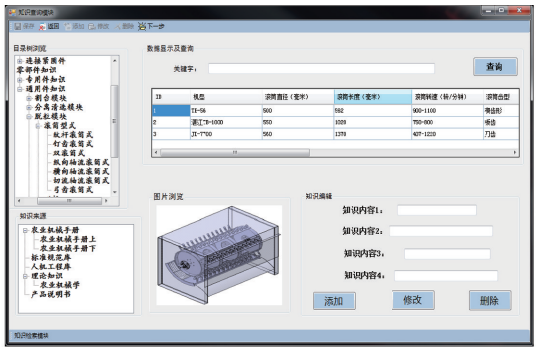


图 15　知识查询界面

Fig. 15　Interface of knowledge query

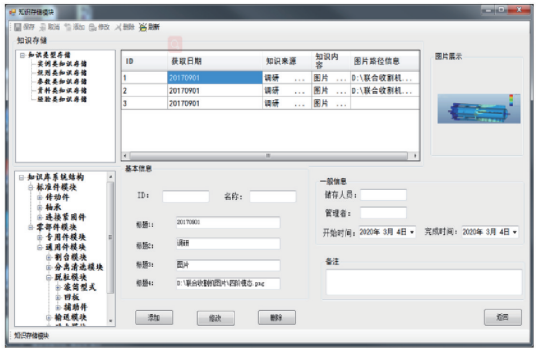


图 16　知识存储界面

Fig. 16　Interface of knowledge storage

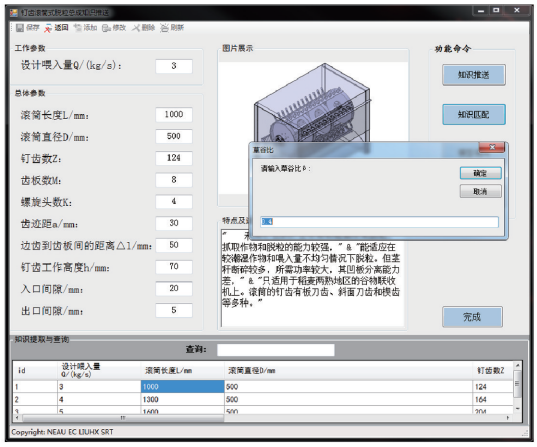


图 17　知识推送界面

Fig. 17　Interface of knowledge pushing

设计需求知识进行推送，并调用关联的参数化模型进行设计，缩短用户获取所需知识的时间，提高设计效率。

5.2　CATIA 二次开发接口技术集成

联合收获机知识库系统除了具备知识的查询、编辑、存储等功能外，还与 CATIA 建模软件通过接口技术集成，知识库系统将知识推送后的模型设计知识传递给参数化模型，进行变型设计，提高知识继承性与模型的适应性，从而提高用户的设计效率。在 Visual Studio 2015 下对 CATIA 进行二次开发时，应指明对象类型为 CATIA 的某种对象，否则可能执行出错，对象声明的程序语句为

```
imports ProductStructureTypeLib
imports MECMOD
imports PARTITF
imports HybridShapeTypeLib
```

当外部程序通过 COM 接口访问 CATIA 内部对象时,若 CATIA 未启动,使用 CreateObject 函数打开 CATIA;若 CATIA 已启动,使用 GetObject 函数直接与 CATIA 建立连接,程序语句为

```
on Error Resume Next
dim CATIA As INFITF. Application
CATIA = GetObject( ,"CATIA. Application" )
if Err. Number < > 0 Then
CATIA = CreateObject( "CATIA. Application" )
CATIA. Visible = True
```

用户获取系统推送的模型知识后,将其传递给对应的参数化模型,通过交互界面中的命令按钮驱动模型变型。模型驱动的关键程序为

```
CATIA = CreateObject( "CATIA. Application" )
dim productDocument1 As INFITF. Document
productDocument1 = CATIA. ActiveDocument
dim product1 As Product
product1 = productDocument1. Product
dim product1 As Product
product1 = products1. Item( "设计对象" )
dim parameters1 As knowledgewareTypeLib. Parameters
parameters1 = product1. Parameters
parameters1. Item( "模型的结构参数" ). Value = val( TextBox1. Text)
product1. Update( )
```

5.3 系统测试

以纹杆滚筒式脱粒装置设计为例,分析其设计过程并应用混合表示方法对纹杆滚筒式脱粒装置设计知识表达后,形成设计知识的框架体系,使用知识库系统完成纹杆滚筒式脱粒装置模型参数化变型设计。

5.3.1 知识浏览

用户在知识浏览模块界面选择“脱粒模块”进入脱粒装置知识浏览界面,如图 18 所示。首先需要对脱粒装置的知识进行浏览,包括图片展示、特点及适用范围、脱粒装置类型以及功能命令选项,确定设计目标。

5.3.2 知识查询

单击“知识查询”按钮,调取系统中所有与纹杆滚筒式脱粒装置相关的知识,用户通过目录树选择不同的知识来源对设计知识进行浏览、查询,获取所需知识,如图 19 所示。



图 18 脱粒装置类型浏览

Fig. 18 Type browse of threshing device

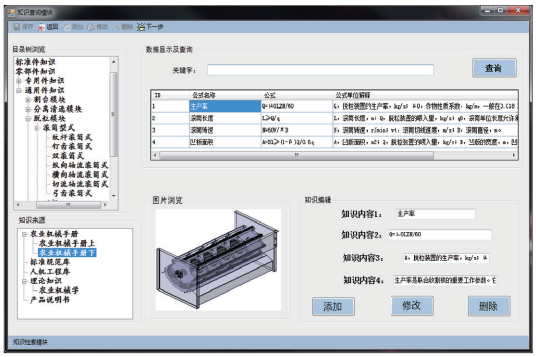


图 19 脱粒装置知识查询

Fig. 19 Knowledge searching of threshing device

当用户明确查询目标,在查询窗口输入目标关键词,以滚筒直径为例,通过模糊查询的方式对系统中的知识进行查询与定位,如图 20 所示,用户可以根据设计需求查询系统中的知识并进行编辑,将知识再利用。

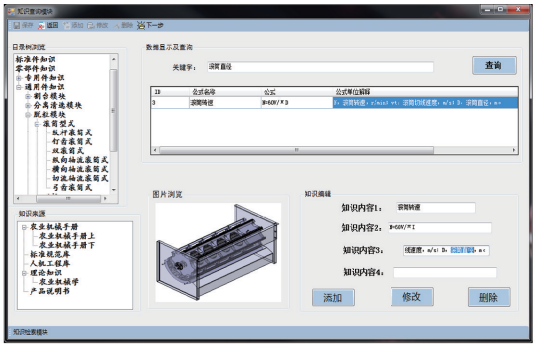


图 20 编辑功能界面

Fig. 20 Interface of editing function

在纹杆式滚筒式脱粒装置设计时,可以根据用户对不同参数的需求进行模糊查询,查询最接近用户要求的设计知识,以图 21 为例,选中“长度”复选框,输入范围 900 ~950 mm,查询系统中已存储的滚筒长度范围在 900 ~950 mm 之间的实例类知识,作为当前设计的参考。

5.3.3 知识推理

若没有满足设计要求的知识,则在 Visual Studio 2015 下对纹杆滚筒式脱粒装置的设计知识



图 21　模糊查询结果

Fig. 21　Result of fuzzy knowledge searching

进行推理。通过人机交互方式用户输入求解问题的初始参数，系统调用储存的方法函数和公式进行推理计算，得出具体零部件设计参数，如图 22 所示，从系统中调取滚筒直径、滚筒线速度后，通过程序将对应的公式类知识进行表达，单击“推理计算”按钮，即可获得滚筒转速等工作参数，单击“下一步”按钮获取其他设计参数，并将计算结果保存。该方式将设计体系与系统推理机制融合，直接从系统中将知识提取，缩短用户查询公式及计算时间，提高设计效率。



图 22　基于规则的推理界面

Fig. 22　Interface of rule-based reasoning

将获取的纹杆滚筒式脱粒装置设计知识结合知识表达形成的设计体系，实现设计过程的程序化，程序流程如图 23 所示。图中 Q 为喂入量；μ_0 为作物性质系数；q_0 为滚筒单位长度允许承担的喂入量；q_α 为单位凹板面积允许负担的喂入量；β 为喂入作物中谷粒所占质量的比率；v_t 为滚筒切线速度；$v_{\max}$、$v_{\min}$ 为最大、最小参考转速；L 为滚筒长度；L_0、L_1 为纹杆孔位置尺寸；n 为辐盘数；D 为滚筒直径；Z 为纹杆数；N 为滚筒转速；A 为凹板面积；α 为凹板包角；δ_r、δ_c 为脱粒间隙。

5.3.4　知识推送

在纹杆滚筒式脱粒装置知识推送界面，用户根据辅助对话框提示选择纹杆滚筒式脱粒装置设计所需知识，单击“知识推送”按钮，如图 24 所示，选择

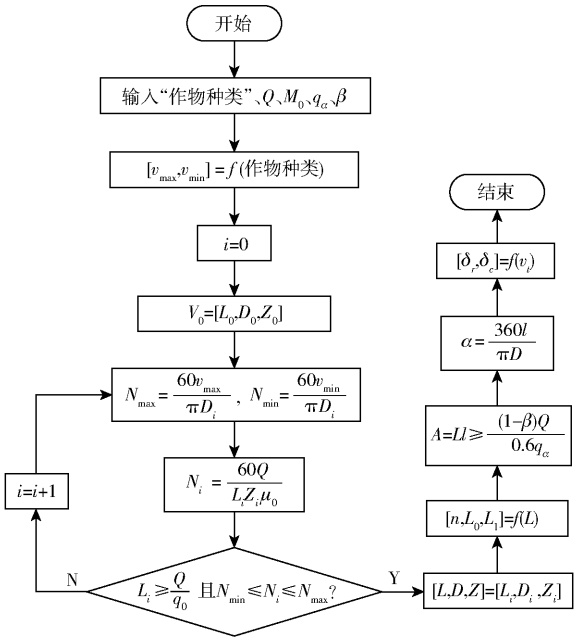


图 23　程序流程图

Fig. 23　Program flow chart

设计的脱粒装置类型后，依次弹出产品设计的初始参数“作物种类”、“喂入量”、“滚筒单位长度允许承担喂入量”、“作物性质系数”、“草谷比”、“入口间隙”和“出口间隙”对话框，确认后自动调取系统中对应的“滚筒转速”、“滚筒长度”、“凹板面积”等知识进行提取或推理，并将提取与推理结果推送至界面显示。

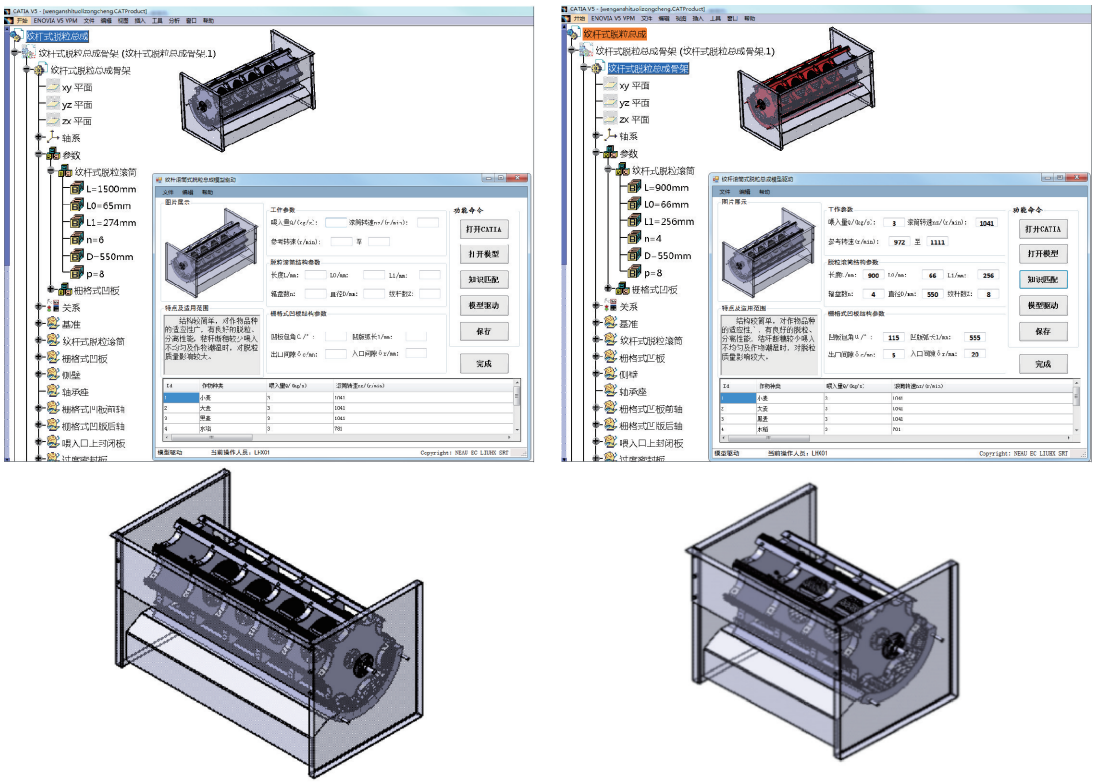


图 24　知识推送

Fig. 24　Knowledge pushing

5.3.5　模型驱动

最后单击“调用模型”按钮，用户在脱粒装置参数化模型库中调取参数化模型，进入纹杆滚筒式脱粒总成模型驱动界面，如图 25 所示，在 CATIA 环境下二次开发，根据设计需求对已关联的参数化模型进行参数修改，单击“模型驱动”按钮，通过程序将推送的设计参数知识传递到模型对应的结构参数上进行模型驱动，在不同需求下完成模型参数化设计与变型，之后将模型设计知



(a) 模型驱动前 (b) 模型驱动后

图 25 模型驱动前后对比

Fig. 25 Comparison of before and after driving model

识存储在知识库系统中,增加系统中纹杆滚筒式脱粒装置设计知识储量,方便对系统知识的扩充与获取,并为同类设计作参考。

通过上述操作流程,可以完成纹杆滚筒式脱粒装置知识的获取、推理、编辑、推送以及模型的参数化变型设计过程,将设计过程系统化;随着系统联合收获机知识量扩充,应用知识库系统可以进行联合收获机内部零部件模型参数化设计,本课题组初步构建了联合收获机脱粒装置与清选装置参数化模型库[3,18],很好地为联合收获机知识库系统提供模型资源的支持。

系统测试表明:联合收获机知识库系统将设计方式转变,应用计算机代替人力查询知识,从知识库系统中直接获取、推理并将设计知识推送给用户,并融合 CATIA 参数化模型设计过程,最大限度减少了用户查询以及由于设计失误重新设计的时间,这种设计方式将联合收获机设计知识集成化并高效获取,提高知识的继承性和模型的适应性,从而提高设计效率。

6 结论

(1)应用谱系及谱系拓扑图形式对联合收获机知识资源进行组织,按照联合收获机智能化设计平台需求对知识库系统进行架构分析,对联合收获机知识进行系统化管理。

(2)根据农机装备设计知识特点与表现形式,应用框架表示和产生式规则相结合的混合表示方法可以有效表达农机装备设计过程。应用 ADO.Net 技术,在.Net 环境下实现知识库系统与数据库知识的双向传递,并依据联合收获机知识分类结果与谱系拓扑图进行组织存储,提高设计知识的集成化程度。

(3)通过人机交互的方式,系统将知识表达形成的设计体系封装,借助相关技术将设计知识与开发工具融合运用,实现知识的查询、推理、编辑及推送功能,并通过 CATIA 参数化模型变型设计实现联合收获机设计过程中知识的高效获取与应用,提高了设计效率与联合收获机知识的继承性。该方法具有通用性,可为农机装备智能化设计方案提供借鉴。

参 考 文 献

[1] LIU Hongxin. Research of the primary agricultural mechanization in developing country[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2009, 16(4): 63 - 69.

[2] 刘宏新,王登宇,郭丽峰,等. 先进设计技术在农业装备研究中的应用分析[J/OL]. 农业机械学报,2019,50(7):1 - 18.
LIU Hongxin, WANG Dengyu, GUO Lifeng, et al. Application analysis of advanced design technology in agricultural equipment research [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019,50(7): 1 - 18. http://www.j-csam.

org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag=1&file_no=20190701&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.07.001. (in Chinese)
[3] 刘宏新,安晶玉,王登宇,等. 基于全息模型库的数字样机运动机构交互式创建系统[J/OL]. 农业机械学报,2019,50(3):377-387.
LIU Hongxin, AN Jingyu, WANG Dengyu, et al. Digital prototype motion mechanism interactive creation system based on holographic model library [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(3): 377-387. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag=1&file_no=20190343&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.03.043. (in Chinese)
[4] 赵匀. 农业机械现代设计方法综述[J]. 东北农业大学学报,2012,43(2):1-5.
ZHAO Yun. Review of modern design methods for agricultural machinery[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2012, 43(2): 1-5. (in Chinese)
[5] 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.
[6] 阎楚良,杨方飞,张书明. 农业机械数字化设计应用技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2004.
[7] 徐静,许燕,尹健,等. 联合收割机脱粒装置的模块化设计及参数化建模[J]. 贵州科学,2013,31(4):33-36.
XU Jing, XU Yan, YIN Jian, et al. Modular design and parametric modeling of combine harvester threshing device[J]. Guizhou Science, 2013, 31(4): 33-36. (in Chinese)
[8] JUAN D VELASQUE Z, VASILE P. A knowledge base for the maintenance of knowledge extracted from web data[J]. Knowledge-Based Systems, 2007, 20(3): 238-248.
[9] JAMES P, TORSTEN S. A consistency-based framework for merging knowledge bases[J]. Journal of Applied Logic, 2007, 5(3): 459-477.
[10] YANG C, WANG D, GOLDBERG S. ScaLeKB: scalable learning and inference over large knowledge bases[J]. The VLDB Journal, 2016, 25(6): 893-918.
[11] LI Zhaowen, LIU Yuanyuan, LI Qingguo, et al. Relationships between knowledge bases and related results[J]. Knowledge and Information Systems, 2016, 49(1): 171-195.
[12] 丁志东. 整车开发知识库的构建[J]. 机械,2004(11):1-3.
DING Zhidong. Construction of vehicle development knowledge base[J]. Machinery, 2004(11): 1-3. (in Chinese)
[13] 曾福胜. 产品设计知识管理关键技术研究[D]. 上海:上海交通大学,2007.
ZENG Fusheng. Research on key technology of product design knowledge management[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007. (in Chinese)
[14] 王驰,郭钢,童福安,等. 基于知识的转向器参数化设计系统知识库的构建[J]. 机械工程与自动化,2008(3):1-3.
WANG Chi, GUO Gang, TONG Fuan, et al. Knowledge base construction of knowledge-based steering gear parametric design system [J]. Mechanical Engineering and Automation, 2008(3): 1-3. (in Chinese)
[15] 李治. 基于知识工程和数字仿真的产品远程定制方法研究与应用[D]. 上海:上海交通大学,2007.
LI Zhi. Research and application of product remote customization based on knowledge engineering and digital simulation[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007. (in Chinese)
[16] 杜岳峰,傅生辉,毛恩荣,等. 农业机械智能化设计技术发展现状与展望[J/OL]. 农业机械学报,2019,50(9):1-17.
DU Yuefeng, FU Shenghui, MAO Enrong, et al. Development status and Prospect of intelligent design technology of agricultural machinery[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(9): 1-17. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? file_no=20190901&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.09.001. (in Chinese)
[17] 陈志,杨方飞. 农业机械数字化设计技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2013.
[18] 苏航. 脱粒与清选装置参数匹配技术与方法研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019.
SU Hang. Study on parameter matching technology and method of threshing and cleaning equipment[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019. (in Chinese)
[19] WANG Pengjia, LIU Yongxian, ONG S K, et al. Modular design of machine tools to facilitate design for disassembly and remanufacturing [J]. Original Research Article, 2014, 15(21): 443-448.
[20] 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)
[21] 刘琼,徐洋,邓明中. 面向产品配置的模块划分方法[J]. 南华大学学报,2012,26(2):36-40.
LIU Qiong, XU Yang, DENG Mingzhong. Module partition method for product configuration[J]. Journal of University of South China(Science and Technology), 2012, 26(2):36-40. (in Chinese)
[22] 谌炎辉,周德俭,袁海英,等. 复杂产品的最小最大划分模块化方法[J]. 计算机集成制造系统,2012,18(1):9-14.
CHEN Yanhui, ZHOU Dejian, YUAN Haiying, et al. Min-max partition modularity method of complex product [J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2012,18(1): 9-14. (in Chinese)
[23] ZHOU Ji, LI Peigen, ZHOU Yanhong, et al. Toward new-generation intelligent manufacturing[J]. Engineering, 2018, 4(1): 11-20.
[24] POKOJSKI J, OLEKSIÉSKI K, PRUSZYÉSKI J. Knowledge based processes in the context of conceptual design[J]. Journal of Industrial Information Integration, 2019,15: 219-238.
[25] LIU Q, XI J. Case-based parametric design system for test turntable[J]. Expert Systems with Applications,2011,38(6):508-516.
[26] 王宏生,孟国艳. 人工智能及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,2009.
[27] 李长林. 基于知识的农机专业底盘快速设计专家系统构建方法研究[D]. 北京:中国农业大学,2014.
LI Changlin. Research on the construction method of knowledge-based expert system for rapid chassis design of agricultural machinery [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
[28] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册(下册)[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007.
[29] 邹珺. 基于 SQL 的 ADO.NET 数据访问技术研究与实现[J]. 科技创新与生产力,2014(9):233-234.
ZOU Jun. Research and implementation of ADO.NET data access technology based on SQL [J]. Technological Innovation and Productivity, 2014(9): 233-234. (in Chinese)
[30] 李畅. 基于模糊查询技术的文件检索系统研究[D]. 天津:天津大学,2012.
LI Chang. Research on file retrieval system based on fuzzy query technology [D]. Tianjin: Tianjin University, 2012. (in Chinese)