

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.12.044

基于 Skeleton Design 的脱粒装置交互式设计系统研究

刘宏新 刘招金 张光甫 周丽丽
(东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030)

摘要: 针对联合收获机脱粒装置设计过程中装备结构复杂、参数化变形设计困难以及对设计人员专业素质要求高的问题,为寻求合适的参数化设计手段,研究了基于 Skeleton Design(骨架设计)的脱粒装置交互式设计系统。以纹杆滚筒式脱粒装置为研究对象,引入 Skeleton Design 过程体的概念,结合纹杆滚筒式脱粒装置的总体设计过程,实现脱粒装置的个性化设计与参数化建模。以 VS(Microsoft Visual Studio)环境下 VB.NET 为开发语言,应用 CATIA(Computer aided tri-dimensional interface application)二次开发接口技术与 SQL Server 数据库管理,将模型、参数、知识信息等数字化资源与操作平台组织起来,联合运用,通过人机交互的方式进行产品设计。系统测试表明,该系统能在降低设计人员专业性、提高开发产品准确性的同时,提高设计效率、缩短设计周期,并且易于理解和应用,增强了模型的知识继承与重用性,满足脱粒装置个性化设计要求。

关键词: 交互式设计系统; Skeleton Design; 设计过程实例树; 参数化设计; 脱粒装置

中图分类号: S220.2; TP311.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2020)12-0405-12 **OSID:** 

Interactive Design System of Threshing Device Based on Skeleton Design

LIU Hongxin LIU Zhaojin ZHANG Guangfu ZHOU Lili
(College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In view of the complexity of design problems, the variety of projects, the difficulty of parameterized deformation design and the high requirements for the professional quality of designers in the design process of combine harvester, appropriate parameterized design methods were sought, and the interactive design system of threshing device was studied based on Skeleton Design. This method only needed to obtain the overall design information of combine harvester equipment, and it can automatically complete the personalized design of combine harvester related parts. Taking the typical component of combine harvester—strip-rod drum threshing device as the research object, the concepts of Skeleton Design and process body were introduced to realize the personalized. Combined with the overall design process of strip-rod drum threshing device, the reasoning machine based on rules, examples and models was used to determine the values of design parameters, to establish a threshing device matching relation between structural parameters and working parameters, and then to lay a foundation for the realization of interactive design system. Meanwhile, according to the example tree of threshing device process and Skeleton Design philosophy, the personalized and parameterized design and modeling of threshing drum were completed. Visual Studio was used as the development language, providing technical support for the system, and to achieve interactive design system, and computer aided tri-dimensional interface application (CATIA) was applied to realize the visualization of this method on the digital interface. The application of SQL database management data realized the object-oriented language environment product design, data sharing and exchange foundation. Taking combine harvester threshing device as the research object, the process of instance design was analyzed, the relationship between instance tree and parameter configuration of threshing device was defined, and the interactive design system was completed through the integration of Skeleton Design, Visual Studio and CAITA secondary development. System test results showed that the system can reduce the specialization of researchers and improve the accuracy of the developed products at the same time, improve the design efficiency, shorten the design cycle, and easy to

understand and apply, which can enhance knowledge inheritance and reusability of the model, and make it meet the grain rod roller personalized design requirements, and it can also provide reference for this kind of intelligent design problem.

Key words: interactive design system; Skeleton Design; design process instance trees; parametric deformation design; threshing device

0 引言

设计是产品研发的重要环节,是企业智力资源及研发条件转化为生产力的主要形式。随着农业技术的发展,我国农业装备将面临更高的设计要求^[1]。大型农业装备联合收获机作业时需面对不同的作物和地域,更需要个性化的设计。目前,联合收获机设计在很大程度上依赖于设计人员的工作经验。尽管有学者提出将智能 CAD (Computer aided design) 用于联合收获机设计^[2-4],但在实际应用中,此类复杂设计的机械产品很难完全依赖规则和模型来解决设计中的问题。

目前,农业装备先进设计正逐渐演变成一个知识密集与交叉的复杂过程^[5-6],基于知识的设计方法和基于 CAX 与 PDM (Product data management) 的数字化设计系统是农机设计智能化的重要途径^[7-8],对提高我国农业装备的设计水平具有重要指导意义。传统研发模式下的农业装备智能化程度不高,设计周期长、效率低、知识继承和重用性差,且变型设计困难^[9-10]。参数化设计是智能化设计的关键技术之一^[11],可为智能化设计提供技术支持与基础保障。

近年来,基于三维软件进行参数化设计的方法被广泛研究与应用^[12-13],参数化设计可实现模型的系列化生成,提高设计效率与知识重用^[14-15]。文献[16]研究了一种基于规则转换与变量驱动的产品系列化设计方法,针对参数较多的复杂产品,提出利用关联关系的尺寸链驱动关键参数。LI 等^[17]研究了一种基于有向图的产品参数化建模方法,解决了参数化建模过程中产品系列设计的数据冲突问题。DEMOLY 等^[18]通过重复建模开发了基于知识的参数化 CAD 模型。以上研究解决了参数化设计中的参数关联和数据冲突问题,但对装配关系未能准确表达与定义。装配体参数化的更高需求推动了对自顶向下关联技术与参数化方法的研究。水俊峰等^[19]对基于 SolidWorks 自顶向下装配与参数化技术进行研究,提出以“顶层基本骨架”作为自顶向下设计时信息传递的桥梁,实现了实例装配过程和参数化设计。常娟等^[20]研究了基于 NX 参数化自顶向下的设计方法,将自顶向下方法和 NX 参数化相

结合,实现了参数逐级传递、零件关联、零部件并行设计和自动化装配。NECDET 等^[21]利用三维建模技术与自顶向下建模方法,开发了一种新型的球关节参数化设计平台。WANG 等^[22]结合同步建模、并行设计、协同建模技术和自顶向下装配建模技术,设计了双链传动滚筒输送机。以上研究解决了装配体设计中设计参数复杂、装配关系不明确所导致的参数传递困难、关联关系混乱等问题,运用 Skeleton Design 技术,即以“顶层基本骨架”为设计核心,能充分反映装配关系,将设计信息分层管理,提高了设计的准确性。由于农业装备工作环境复杂和设计要求较高,该技术手段在农业装备设计上应用较少。并且,该技术手段专业性强,对设计人员的专业知识及综合素质要求也较高。借助现代高端软件接口技术和软件开发技术,将模型、知识等数字化资源与操作平台并联合运用,通过人机交互的方式进行产品设计,可大幅降低对研究人员的专业性要求,有效提高产品开发的准确性与专业性。

脱粒装置是联合收获机的重要部件,本文以纹杆滚筒式脱粒装置为研究对象,研究一种交互式设计系统。首先,制定系统技术与方案,通过实例分析完成其设计过程建模与参数求解;在 CATIA 二次开发环境下,以 Skeleton Design 为设计核心,构建骨架参数化模型。应用 Visual Studio 环境下 VB.NET 开发语言和 SQL Server 数据库管理进行系统集成,通过人机交互方式快速获得结构参数,并生成对应参数模型。以期达到缩短设计周期、提高设计效率与准确性、降低对设计人员专业素质要求的目的,适应当代农机产品设计的定制化与个性化新需求,同时也为解决此类问题提供一种通用方法。

1 系统技术与方案

1.1 系统技术

1.1.1 Skeleton Design 参数化设计

关联设计是 CATIA 软件的主要特点,其主体思想是将设计特征与设计参数和设计输入关联起来,通过关联和发布机制实现关联设计。完备的关联设计具备较强的适应性,面对多变的总体设计要求,能够高效、准确地做出应变,为实现交互式设计系统提供了技术支持与可行性。

Skeleton Design 是关联设计的一种,该方法要求在产品设计的最初阶段,按照该产品的最基本功能和要求,在设计顶层构筑一个基本骨架,称为顶层基本骨架,随后的设计过程基本都是在该顶层基本骨架的基础上进行复制、修改、细化、完善并最终完成整个设计过程。

Skeleton Design 参数化设计方法相比于其他参数化设计方法,如:基于尺寸关联参数化设计、基于规则转换与变量驱动的产品系列化设计,能够充分反映产品各模块之间的位置关系,实现对部件的尺寸变形设计与装配位置关系的参数化,保证参数传递的准确与完整,提高设计的可靠性,但该设计本身不能面向不同的用户需求,且对设计人员专业性要求较高^[23]。以 Skeleton Design 为基础,通过人机交互的方式,能够实现面向用户需求的设计。

1.1.2 CATIA 二次开发接口技术

设计系统紧紧围绕产品项目的需求信息,根据项目信息进行纹杆滚筒式脱粒装置设计,建立装置的设计过程模型,完成装置的全部参数分析与计算。同时应用 CATIA 三维建模软件,根据设计过程实例树,结合 Skeleton Design 技术创建参数化模型,建立变形模块单元。将需求信息与计算数据传递给基本变形模块,由该模块自动完成模型的参数化变形,相应参数化设计封装于基本变形模块内。基础变型模块由 CATIA 软件完成,充分利用了 CATIA 如下特点:① 基于 CATIA 二次开发,达到三维模型资源双向关联的目的。② CATIA 知识工程是知识工程与 CAD 软件的集成,CATIA 知识工程为参数化设计提供技术手段,将 Parameters(参数)、Formulas(公式)、Rules(规则)等对象直接嵌入到零部件中。③ CATIA API 对象是 CATIA 二次开发的主要接口,通过操作这些 API 的方法和属性,实现功能定制的 CATIA 软件中的相应操作^[24]。CATIA 发布机制将设计信息发布出去,方便程序获取,便于关联设计的有效实施。

1.2 系统总体方案

为降低系统操作用户的专业素质要求,实现准确便捷的设计过程,本文预设计操作简便且具有通用性的脱粒装置交互式设计系统。系统能够基于专业知识实现装置的参数求解过程,且模型具备参数化变形能力,可对不同参数配置进行驱动变形,获取满足设计要求的模型,具有面向更广泛用户的通用性及普适性。脱粒装置交互式设计系统的总体方案如图 1 所示。

在该设计系统中,VS 环境下的 VB.NET 语言编程开发能力与 CATIA 二次开发接口技术的协调是

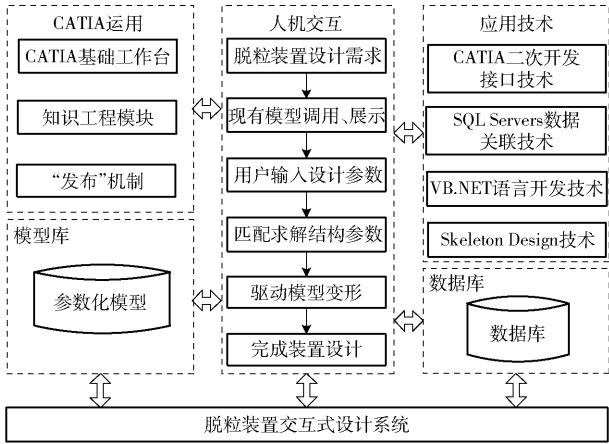


图 1 系统总体方案

Fig. 1 General system formula

实现交互式设计的关键技术之一。现代的三维设计平台普遍都提供了基于面向外界的开发环境。设计人员可以在该环境下,通过调用平台提供的二次开发函数,实现向平台发出相应指令的操作。

通过结合 CATIA 二次开发接口技术与 VS 下的 VB.NET 语言开发,将知识、参数、模型等数据化资源封装设计,通过人机交互的形式对脱粒装置进行设计,设计对象的封装由编程语言实现。在封装的设计对象中,编程语言不仅需解决设计过程的计算问题,还需解决设计过程的推理问题,以及应用 CATIA 平台二次开发接口技术进行模型调用、产品设计与参数化驱动等问题。封装的设计对象是以产品为设计对象的集成体,它解决了产品开发设计全过程的技术问题。

模型库与数据库是实现编程语言开发环境下产品模型和设计数据共享和交换的基础。其中,数据交换与共享包括:编程语言环境内部的数据交换,主要实现设计过程的分析与推理;编程语言环境与 CATIA 设计平台二次开发环境的数据交换,主要解决参数化模型的调用、生成、驱动变形等过程。

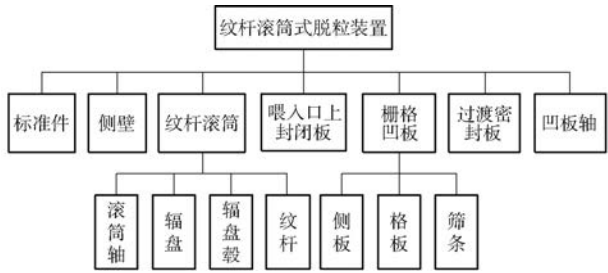
2 实例分析与设计过程建模

设计实际是一个在问题域中动态求解的过程,如将设计过程比作一条曲线,产品原型只是满足特定条件得到的曲线终点。为完成人机交互设计系统,实现设计重用,需对整个设计过程进行建模,而不是仅仅对设计结果加以建模。

2.1 实例分析

根据作物是否通过脱粒装置可分为全喂入式和半喂入式脱粒装置两大类。全喂入脱粒装置按作物沿脱粒滚筒的流向又可分为切流式与轴流式两种。切流式脱粒装置中,作物喂入后沿滚筒的切线方向进入并流动,在此过程中由滚筒与凹板的配合作用

进行脱粒。属于此种形式的有纹杆滚筒式、钉齿滚筒式和双滚筒式脱粒滚筒。其中,纹杆滚筒式脱粒装置在国内外谷物联合收获机上应用的最为广泛^[25]。本文以纹杆滚筒式脱粒装置为设计实例。设计实例可分解成一棵设计实例树,图2为纹杆滚筒式脱粒装置设计实例树。



2.2 设计过程分析

纹杆滚筒式脱粒装置的工作性能受许多因素影响,如谷物喂入方式、凹板长度、凹板包角、滚筒直径、纹杆数、凹板间隙、滚筒速度、喂入速度以及作物湿度、草谷比、杂草含量等。设计脱粒装置过程,需根据上述因素对脱粒工作的影响,正确选择和确定其结构参数与工作参数。

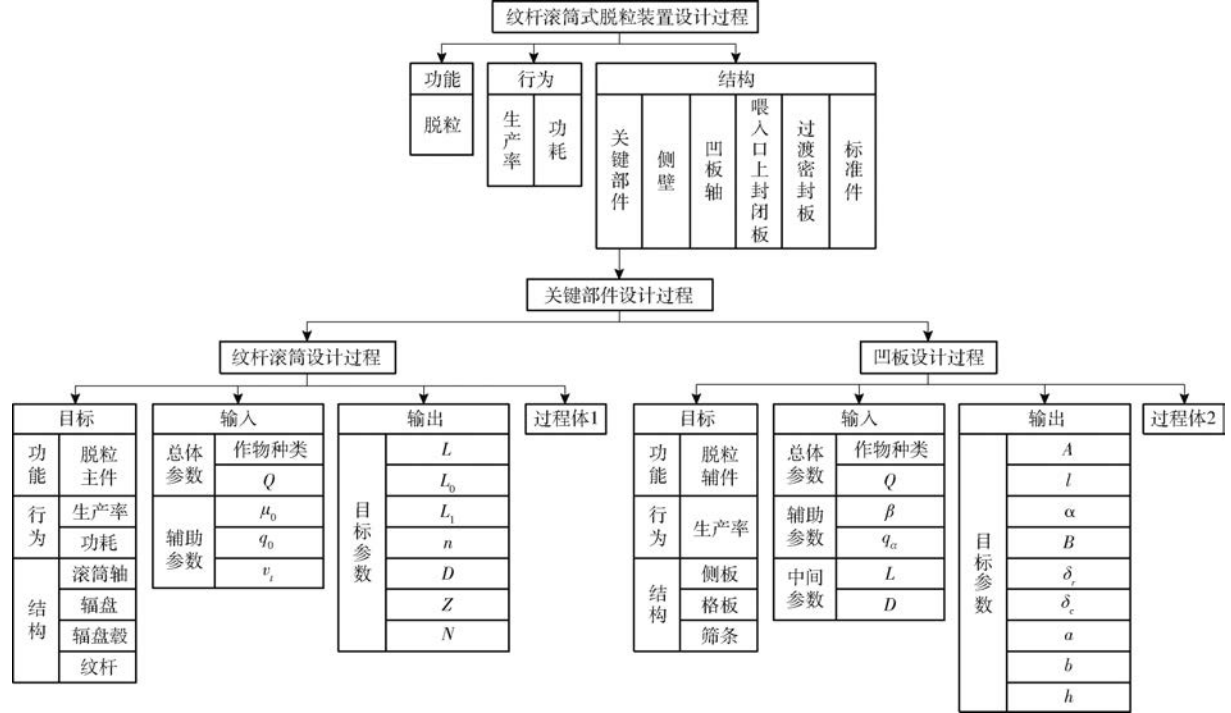
脱粒装置结构参数包括零部件关键尺寸、零部件之间的装配尺寸以及标准系列参数。关键尺寸指结构设计开始时已知的结构参数或用户要求的参数。这些参数与产品的目的功能有密切关系,在设计阶段通过计算或设计师交互输入给定;装配尺寸

指由零部件装配关系确定的参数,其设计约束一般为几何约束,同时考虑非几何约束,如作物种类对尺寸参数设计的影响和其不受几何学限制的特点,为便于计算和保证系统的集成性,将非几何约束条件通过程序写入设计过程,保证约束条件的完整性与设计可靠性;标准系列参数即标准件的尺寸系列数据(相关数据来自有关企业的产品目录、设计手册或标准),经收集整理后,可放入数据库中,通过查询程序检索。

工作参数即产品在正常工作时的各项数据,脱粒装置的工作参数包括喂入量与滚筒转速等。

2.3 设计过程建模

与纹杆滚筒式脱粒装置的设计实例树相对应,设计过程也可以分解成一棵设计过程树,图3为纹杆滚筒式脱粒装置的设计过程树。图中清晰表述脱粒装置的设计过程, Q 为喂入量, kg/s ; μ_0 为纹杆单位长度脱粒能力, kg/m ; q_0 为滚筒单位长度允许承担的喂入量, $\text{kg}/(\text{s}\cdot\text{m})$; v_t 为滚筒切线速度, m/s ; L 为滚筒长度, m ; L_0 、 L_1 为纹杆孔位置尺寸, mm ; n 为辐盘数; D 为滚筒直径, mm ; Z 为纹杆数; N 为滚筒转速, r/min ; β 为喂入作物中谷粒所占质量的比率; q_a 为单位凹板面积允许负担的喂入量, $\text{kg}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$; A 为凹板面积, m^2 ; l 为凹板弧长, m ; B 为凹板宽度, m ; α 为凹板包角, $(^\circ)$; δ_r 、 δ_c 为脱粒间隙, mm ; b 为格板间的孔长, mm ; a 为筛条间距, mm ; h 为格板顶面高出筛条的距离, mm 。对过程的描述可从目标、输入、输出和过程体4方面来进行^[26]。



从功能、行为和结构 3 方面来描述设计所要达到的目标;功能即产品相对于整体所能完成的某一具体功能,行为即产品所能达到的预期工作指标,结构即该产品的具体组成结构。

输入和输出是描述过程的关键要素。输入包括全局输入和中间输入,其中,全局输入表示整个设计的输入,中间输入来自其他过程输出的中间结果;输出描述过程的输出,其可以是后续过程的输入。与过程模型中的输入与输出相对应,把参数分为总体参数、辅助参数、中间参数与目标参数。

过程体是过程的执行体,它是按照特定格式表达指令的集合。

3 纹杆滚筒式脱粒装置参数求解

3.1 纹杆滚筒参数

3.1.1 生产率

生产率是联合收获机的重要工作参数,受诸多因素影响,如结构尺寸、工作速度、脱粒间隙、均匀度和脱离质量要求等^[27]。采用单位长度喂入量 q 表示纹杆滚筒式脱粒装置的生产率, q 计算式为

$$q=\mu_0\frac{LZN}{60}$$

(1)

3.1.2 滚筒长度

滚筒是脱粒装置的关键工作部件,它的直径、长度和纹杆数直接影响到脱粒装置的工作性能。

纹杆滚筒长度 L 主要由生产率决定。滚筒长度 L 需满足

$$L\geq\frac{Q}{q_0}$$

(2)

3.1.3 纹杆型式与排列方式

纹杆有 A 型和 D 型两种,A 型仅适用于部分老式机型,需通过纹杆座将其固定在圆形辐板上,拆装困难,功率消耗大,而 D 型具有弯曲型钢断面,纹杆尾部相当于纹杆座,起到抓取作用,并可通过螺栓直接与辐盘连接,装卸方便,适用于可直接安装的多角形辐盘,因此系统默认选用 D 型纹杆进行设计,并保留 A 型纹杆设计选项。纹杆排列方式、根数受滚筒长度影响,选用相邻纹杆纹路相反排列方式,同时为便于平衡,纹杆数取偶数,在 JB/T 9778. 2—1999 标准中,谷物联合收获机滚筒直径 D 、长度 L 和纹杆数 Z 如表 1 所示。

3.1.4 纹杆尺寸

谷物联合收获机纹杆长度 L 、辐盘数及纹杆尺寸如表 2 所示。

3.1.5 滚筒转速

滚筒转速 N 计算式为

表 1 谷物联合收获机滚筒直径 D 、滚筒长度 L 和纹杆数 Z 选用标准

Tab.1 Selection standard of drum diameter D , length L and number of bars Z of combine harvester

直径 D /mm	纹杆数 Z /根	长度 L /mm					
		500	700	900	1 200	1 350	1 500
450	6	△	△	△			
550	8		△	△	△	△	△
600	8				△	△	△

注:△表示选中数据。

表 2 谷物联合收获机的纹杆长度 L 、辐盘数及纹杆尺寸选用标准

Tab.2 Selection standards for dram length L , dram number of spokes and gran size of grain combine harvester

纹杆型式	滚筒长度 L /mm	辐盘数 n	纹杆尺寸/mm		
			L	L_0	L_1
D 型	500	3	500	50	200
	700	3	700	65	285
	900	4	900	66	256
	1 200	5	1 200	50	275
	1 350	6	1 350	50	250
	1 500	6	1 500	65	274

$$N=\frac{60v_t}{\pi D}$$

(3)

3.2 凹板参数

3.2.1 凹板总体尺寸

纹杆滚筒式脱粒装置常用凹板结构有栅格式和冲孔式凹板。钢板冲孔式凹板筛孔率仅 25% ~ 30%,分离率一般不超过 50%,而栅格式凹板筛孔率为 40% ~ 70%,凹板分离率可高达 75% ~ 90%^[27],故系统默认选用应用普遍的栅格式凹板进行设计,并保留其他类型设计选项,以适应个性化需求。凹板面积 A 和凹板弧长 l 对脱粒装置的脱粒和分离能力有显著影响,其与喂入量有关,计算式为

$$A=Bl\geq\frac{(1-\beta)Q}{0.6q_\alpha}$$

(4)

凹板包角 α 计算式为

$$\alpha\geq\frac{360l}{\pi D}$$

(5)

脱粒装置包角 α 取值范围为 90° ~ 120°。

格板间孔长 b 为 30 ~ 40 mm,筛条间距 a 为 8 ~ 15 mm,较宽时断穗增多;格板顶面高出筛条距离 h 为 5 ~ 15 mm,以保证脱粒和分离作用,过大易使茎秆破碎。

3.2.2 滚筒切线速度与脱粒间隙

由滚筒和与之配合的凹板可知,凹板横杆与滚筒纹杆之间有一可调的脱粒间隙,当作物通过时,高

速转动的纹杆对穗头进行冲击、揉搓、振动,将籽粒脱掉。脱粒能力除了与脱粒元件的结构形式相关外,滚筒切线速度同样与脱粒能力有很大关系。滚筒切线速度应小于极限速度,大于使籽粒从穗上脱开的速度。

纹杆滚筒式脱粒装置的滚筒切线速度与脱粒间隙关系如表 3 所示。

表 3 纹杆滚筒式脱粒装置脱粒速度与脱粒间隙
Tab.3 Threshing speed and clearance of strip-rod drum threshing device

作物	滚筒线速度/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	脱粒间隙/mm	
		入口	出口
小麦、大麦	27 ~ 32	16 ~ 22	4 ~ 6
水稻	干	16 ~ 22	4 ~ 10
	湿	16 ~ 22	4 ~ 6
大豆	10 ~ 14	20 ~ 30	6 ~ 15
高粱	12 ~ 22	20 ~ 30	4 ~ 6
玉米	10 ~ 16	35 ~ 45	12 ~ 22
谷子	24 ~ 28	15 ~ 20	2 ~ 4

4 参数化模型建立

4.1 Skeleton Design 流程

图 4 为 Skeleton Design 流程图。

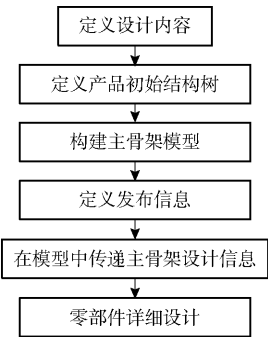


图 4 Skeleton Design 流程图
Fig. 4 Flow chart of Skeleton Design

从产品的空间结构上来看,产品的顶层基本骨架类似于该产品的三维装配布置图,能代表产品的主要空间位置和空间形状,能基本反映构成产品的各个子模块之间的拓扑关系以及其主要运行功能;然而从其自身的不断发展以及它与后续设计的继承和相关关系上来看,它是整个产品自顶向下设计过程中的核心,是各个子装配之间相互联系的中间桥梁和纽带,因此在构筑顶层基本骨架时,更注重在最初的产品总体布局中捕获和抽取各子装配体和零件间的相互关联性和依赖性,这是顶层基本骨架思想的真正内涵。

此外,顶层基本骨架的设计思想还可以延伸到产品的子装配模型以及产品模具的设计中。传统的

装配是零件之间的相互贴合、定位或者对齐,而自顶向下设计中的装配却是子装配体及零件都装配在同一基准即顶层基本骨架(包括基准点、线、面;空间的点、线、面或者产品的点、轮廓线、轮廓面等)上,最后不断变更、发展顶层基本骨架来控制整个产品设计(包括设计的变更),从而使得 Skeleton Design 建模灵活方便,并且易于理解和应用,达到增强模型的知识继承与重用性的目的。

4.2 骨架模型建立

4.2.1 主骨架构建

在一般的装配设计中,由于装配模型中各个子系统之间进行相互的引用,而导致循环更新从而导致设计失败。但在 Skeleton Design 中,所有的外部参考元素都从主骨架传递过来,所有关联都指向同一个方向,很好地避免了大型模型设计中的循环更新问题,保证了模型的柔韧性和健壮性。

严格遵守自顶向下设计原则进行骨架设计,以纹杆滚筒式脱粒装置装配体为例,主骨架构建的一般过程为:

(1)首先创建一个新 Product(纹杆滚筒式脱粒装置),然后在 Product 下新建一个名称为 Skeleton(纹杆滚筒式脱粒装置主骨架)的 Part, Skeleton(纹杆滚筒式脱粒装置主骨架)应当是装配体的第 1 个零件,使用 Fix 装配约束,在该装配中固定 Skeleton 模型,如图 5 所示,为便于观察骨架与实体的关系,保留实体部分并虚化显示,图中包括纹杆滚筒式脱粒装置实体与装置主骨架,黑色线条为骨架轮廓线。

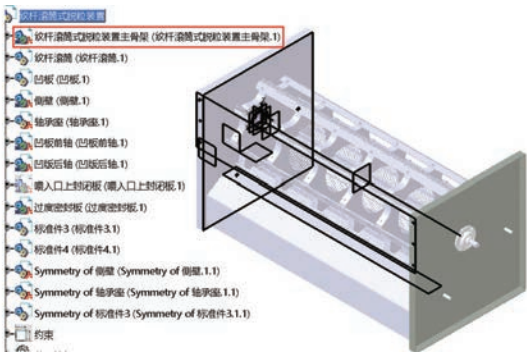


图 5 纹杆滚筒式脱粒装置主骨架
Fig. 5 Grain strip-rod drum threshing device main frame

(2)根据产品的复杂程度确定装配体层次结构,理清每一子装配体的设计规范、限制条件,将各子装配体、零件在空间的静止位置或运动时的相对位置、它们之间的装配约束关系通过基准坐标系、基准点、基准线、基准轴、基准面等基准特征反映,如图 5 所示,以此构建出产品的主骨架,完成产品从概念设计到结构设计的映射。

(3)在产品模型中,除主骨架之外还可以存在多个子骨架,子骨架中的信息来自于主骨架和添加的新的相对于子装配的驱动信息。图 6 为滚筒主骨架与子骨架配置图,子骨架在各零部件 Product 下,黑色粗线轮廓为主骨架——纹杆滚筒式脱粒装置主骨架,红色细线轮廓为纹杆滚筒骨架,蓝色虚线轮廓为凹板骨架,二者为纹杆滚筒式脱粒装置主骨架下层的子骨架。

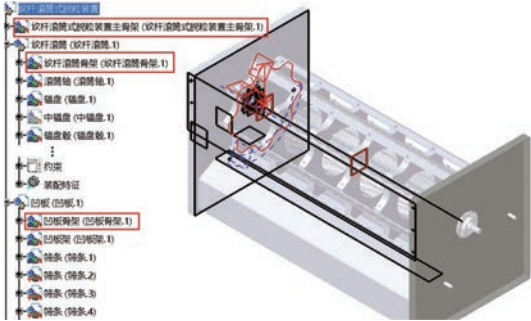


图 6 纹杆滚筒式脱粒装置主、子骨架配置图

Fig. 6 Configuration diagram of main and subframe of strip-rod drum threshing device

4.2.2 主骨架设计信息传递

主骨架设计信息需要被各子装配体、零件所引用,以完成设计信息自顶向下的传递过程,需通过 Publication 机制将需要被引用的设计信息发布,使之在整个工作域内可见。

在 Publication 机制中,具有相同名称的发布元素会自动连接,可以容易地实现零部件的变更与替换。主骨架中发布几何元素定义如表 4 所示。

信息发布的一般过程为:① 设定只能借用 Publication 元素(select as external reference only the published elements),从而避免循环引用的现象产

表 4 主骨架中发布几何元素的定义

Tab. 4 Definitions of published geometric elements in main skeleton

类型	上下文应用	约束应用
点	定义孔中心坐标 作为草绘中约束	定义装配体中的部件原点
线	作为旋转体或者旋转曲面的轴线	添加轴线重合约束
平面	定义特征的深度 定义草绘平面	添加面重合约束
曲面	定义特征的深度 定义草绘平面	添加面重合约束
草绘	在不同零件中应用同一草绘 创建用户自定义阵列	
轴线	作为多轴线参考系统	
参数	在装配中控制尺寸	定义偏移或者角度约束值

生。② 发布主骨架模型中信息,需对已发布的特征进行标注并命名,以方便在特征树中找到一些特定的特征。

4.2.3 实例结构树

根据上述设计过程,在 CATIA 中建立实例结构树,纹杆滚筒式脱粒装置的结构树拓扑图如图 7 所示。

4.3 参数化模型实体生成

将只含有基准面和坐标系的一个“空”零件与主骨架模型进行关联,得到产品的装配概念模型;将需要单独设计的零部件与骨架模型建立适当的关联。建立骨架模型与主导零部件相结合的装配模型。在建立好的含有产品骨架和关键零部件的装配体中,完成零部件的设计,得到最终实体化的参数化模型。纹杆滚筒式脱粒装置参数化模型如图 8 所示。

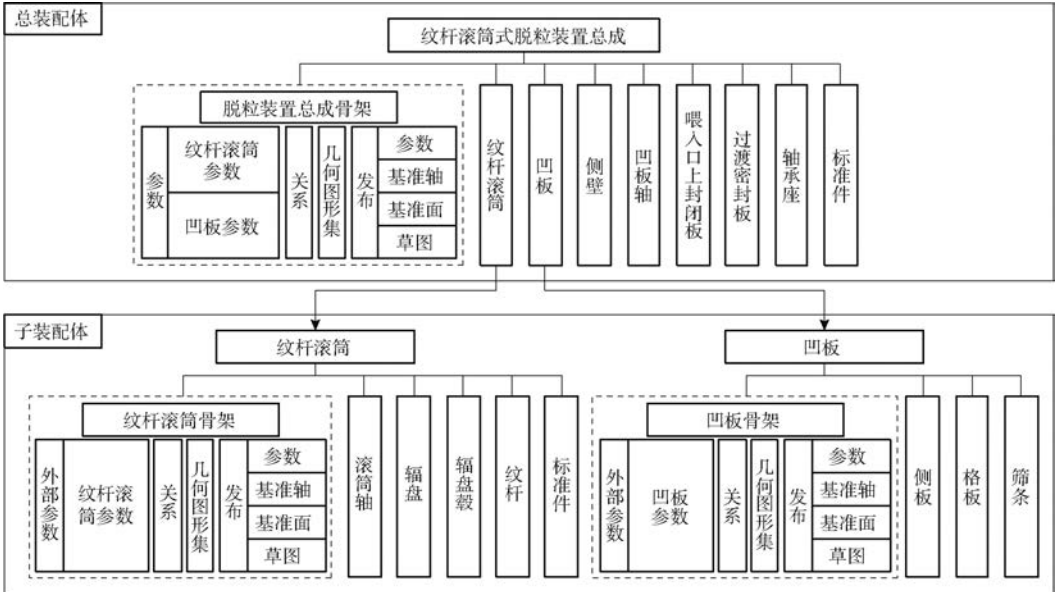


图 7 纹杆滚筒式脱粒装置结构树拓扑图

Fig. 7 Structure tree topology of strip-rod drum threshing device

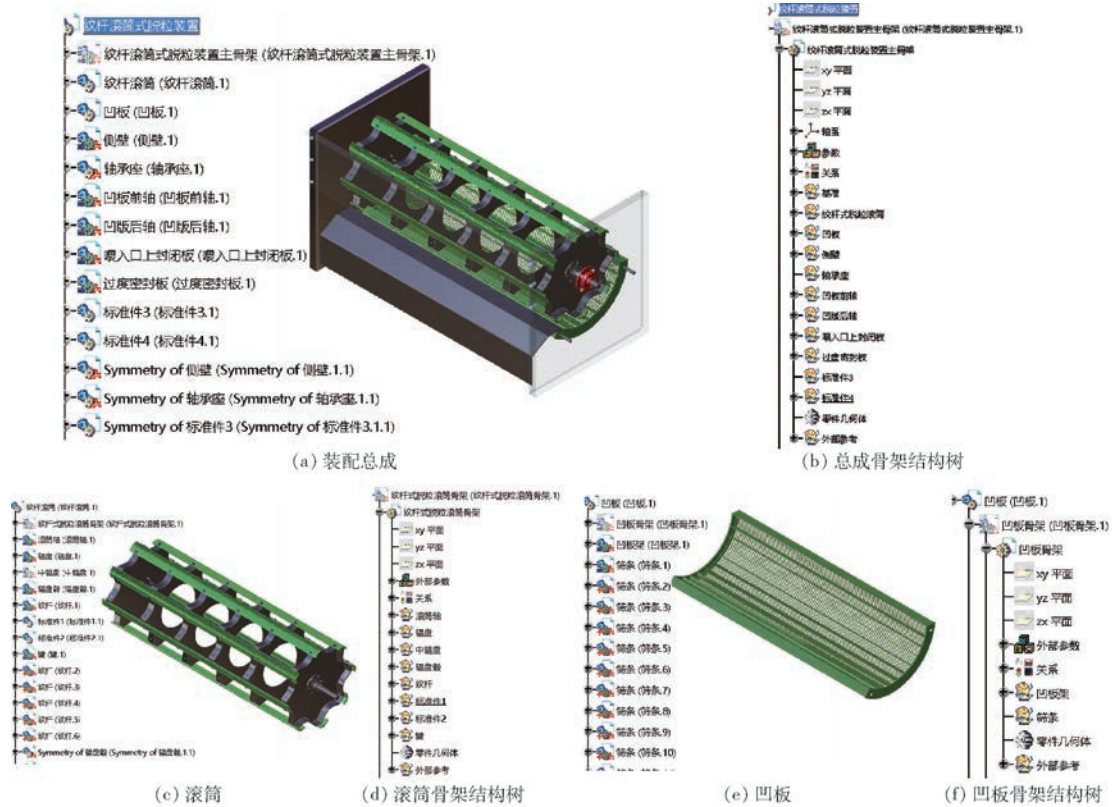


图8 纹杆滚筒式脱粒装置参数化模型

Fig.8 Parameterized models of strip-rod drum threshing device

5 系统集成与测试

为完成基于 Skeleton Design 的脱粒装置交互式设计系统的构建,在现有对纹杆式滚筒脱粒装置所建立的参数化设计过程,以及以 CATIA 为载体的参数化模型单元的基础上,结合 Visual Studio 编程软件的开发功能与 SQL Server 数据库数据管理能力,将模型、知识、参数等数字化资源与操作平台组织起来,联合运用,通过人机交互的方式进行产品设计。

在 Visual Studio 下对 CATIA 进行二次开发,通过人机交互界面设计,辅助完成纹杆滚筒式脱粒装置设计过程,通过结构参数与工作参数的匹配关联,实现设计参数到结构参数的传递,并可直接在系统界面设置参数完成模型设计与参数化变形,实现面向用户的人机交互形式。

5.1 交互界面设计

设计系统登录界面如图 9 所示,包含用户名、用户密码及类型选项,用户类型分普通用户与管理。

登录进入系统显示脱粒总成目录界面,如图 10 所示,其中包含 5 种类型脱粒装置,以纹杆滚筒式脱粒装置为例。

进入纹杆滚筒式脱粒装置设计模块,并确认装置关键部件设计类型进入设计界面,系统默认装置

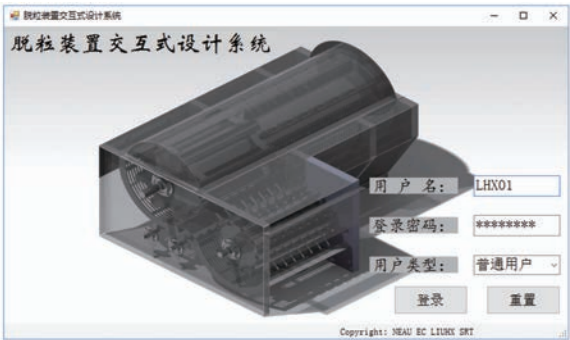


图9 登录界面

Fig.9 Login screen



图10 脱粒总成目录

Fig.10 Threshing assembly catalog

组成为 D 型纹杆滚筒搭配栅格式凹板,确认关键部件类型界面如图 11 所示。

纹杆滚筒式脱粒装置设计界面如图 12 所示,通



图 11 装置关键部件类型界面

Fig. 11 Interface of key component type

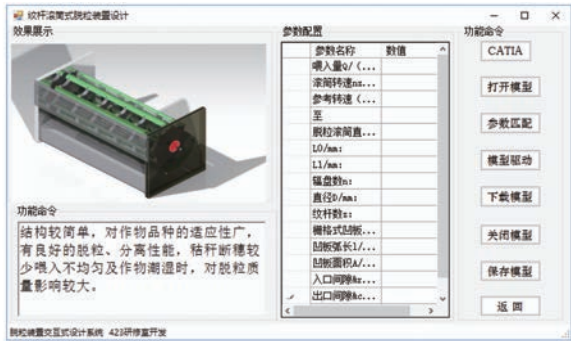


图 12 纹杆滚筒式脱粒装置设计界面

Fig. 12 Design interface of striated bar drum threshing device

过该界面可以浏览设计对象基本信息和调用、驱动、保存、下载模型。

通过“参数匹配”按钮,进行参数匹配设计,可通过输入设计参数求解工作参数,参数匹配辅助界面对话框界面如图 13 所示,通过该界面可辅助操作人员输入纹杆滚筒式脱粒装置的主要设计参数,包括作物种类、喂入量、滚简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。

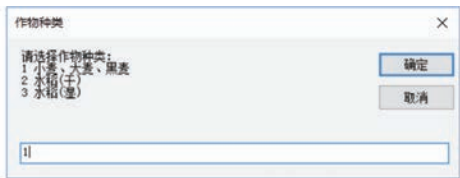


图 13 参数匹配辅助界面对话框

Fig. 13 Parameter matching assistant interface dialog box

5.2 系统技术实现

5.2.1 设计过程程序

在 VS 下,将纹杆滚筒式脱粒装置的设计过程程序化,以程序代码运行实现纹杆滚筒式脱粒装置的设计过程,程序流程图如图 14 所示。

5.2.2 数据库关联设计

选用 SQL Server 2015 作为后台数据库,通过 ADO. Net 实现 SQL Server 与前端开发环境之间的数据集成。在数据库中通过相应的数据表存储实例设计参数。设计参数的录入、修改和删除等操作都直接在数据库中完成。ADO. Net 访问数据库流程如图 15 所示。

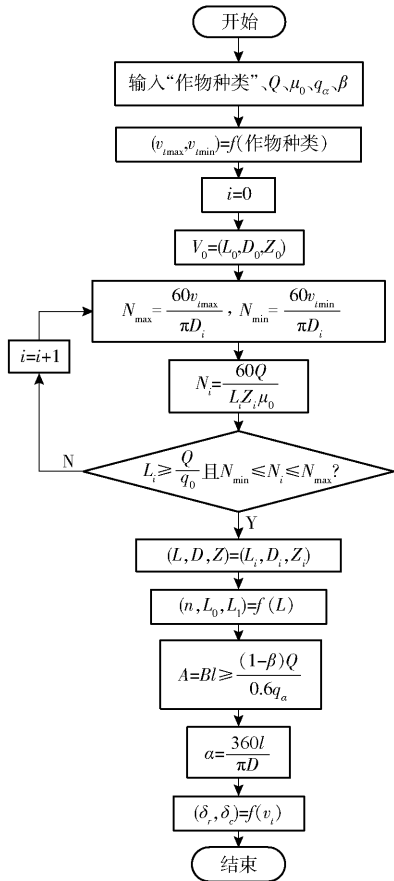


图 14 程序流程图

Fig. 14 Program flow chart

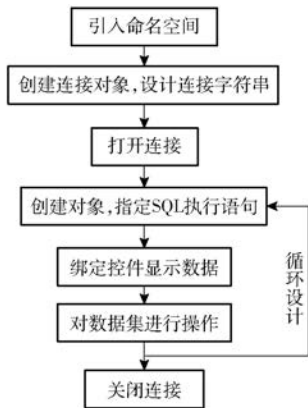


图 15 访问数据库流程

Fig. 15 Database access flow

引入命名空间代码:

Imports System. Data. SqlClient(命名空间)

表 5 为系统应用 SQL 数据库空间下应用对象类型列表。

代码连接数据库加载程序代码

Dim cnStr As String = "Data Source = (local);Initial Catalog = 脱粒模块;Integrated Security = True"

cn = New SqlConnection(cnStr)

da = New SqlDataAdapter("select * from 纹杆滚筒式脱粒装置", cn)

ds = New DataSet()

```
da.Fill(ds,"纹杆滚筒式脱粒装置")
DataGridView1.DataSource = ds.Tables("纹杆滚筒式脱粒装置")
```

表 5 命名空间下应用对象类别

Tab.5 Applying object category under namespace

名称	职能
SqlConnection	实现与数据库的连接
SqlCommand	数据库操作,指定要执行的命令和所使用的连接
SqlDataReader	读取数据库中数据
SqlDataAdapter	填充数据至 DataSet,同步数据至数据库
DataSet	ADO. Net 核心,独立数据源数据访问
DataTable	ADO. Net 核心,对应内存中数据表

5.2.3 CATIA 二次开发接口技术

在 VS 下对 CATIA 进行二次开发时,需要对对象声明。在声明对象时,应指明对象类型为 CATIA 的某种对象,否则可能执行出错。

其声明代码如下

```
Imports ProductStructureTypeLib
Imports MECMOD
Imports PARTITF
Imports HybridShapeTypeLib
```

采用进程外编程访问 CATIA,即将 CATIA 作为一个 OLE 自动化服务器,当外部程序通过 COM 接口来访问 CATIA 内部对象时,存在两种情况,分别用 CreateObject、GetObject 解决,方法职能如表 6 所示。

表 6 进程外访问 CATIA 方法

Tab.6 Out-of-process access to CATIA methods

名称	职能
CreateObject	CATIA 未运行时,启动 CATIA
GetObject	CATIA 运行时,直接访问 CATIA

参数确定后,可通过交互界面中的命令按钮驱动模型改变参数。通过 CATIA 二次开发接口技术,调用 CATIA 目标函数发出指令,驱动模型关键程序代码如下

```
Dim productDocument1 As INFITF.Document
productDocument1 = CATIA.ActiveDocument
Dim product1 As Product
product1 = productDocument1.Product
Dim products1 As Products
products1 = product1.Products
Dim product2 As Product
product2 = products1.Item("纹杆滚筒总成骨架")
Dim parameters1 As KnowledgewareTypeLib.Parameters
```

```
parameters1 = product1.Parameters

通过语句将 DataGridView 列表中数据关联到参数化模型结构参数,实现结构驱动参数的传递,并进行驱动。结构参数有:L、D、L0、L1、Z、n、α、δr、δc。通过语句分别将文本框与结构参数进行匹配赋值,并完成驱动,代码如下
```

```
parameters1.Item("L").Value = DataGridView1.Rows(4).Cells(1).Value
parameters1.Item("D").Value = DataGridView1.Rows(8).Cells(1).Value
...(同类语句已省略)
product1.Update()
```

5.3 系统测试

登录系统,进入纹杆滚筒式脱粒装置设计界面,单击交互界面的“打开模型”按钮,调用现有模型,并显示该模型参数配置数值,如图 16 所示,用户可根据当前模型参数配置情况,确定后续设计过程。

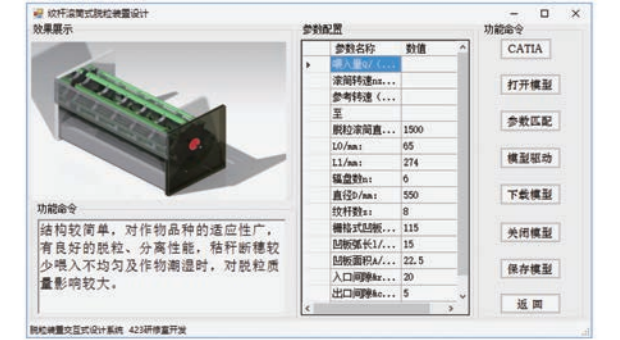


图 16 参数配置显示界面

Fig.16 Parameter configuration display interface

单击交互界面的“参数匹配”按钮,依次弹出“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,如图 17 所示,依次输入 1、3、4、0.024、0.4、20 和 5,得到的参数结果如图 18 所示。

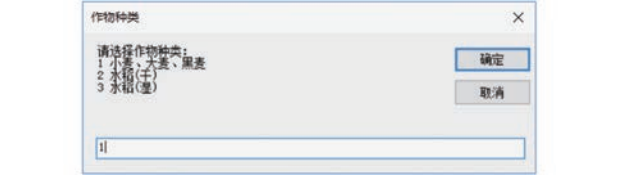


图 17 指令对话框界面

Fig.17 Instruction dialog box interface

单击交互界面的“模型驱动”按钮,即可根据所获得的结构参数,驱动参数化模型改变参数,得到满足设计条件的产品模型,如图 19 所示。

驱动变形获得满足设计要求模型后,可通过界面按钮进行模型保存与模型下载,界面如图 20、21 所示,其中为保证模型资源的准确与完整性,仅管理员具备模型保存权限,普通用户模式下该按钮不生效。

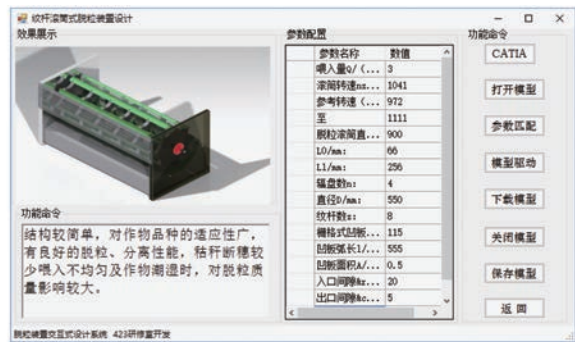


图 18 参数匹配结果界面

Fig. 18 Parameter match results interface

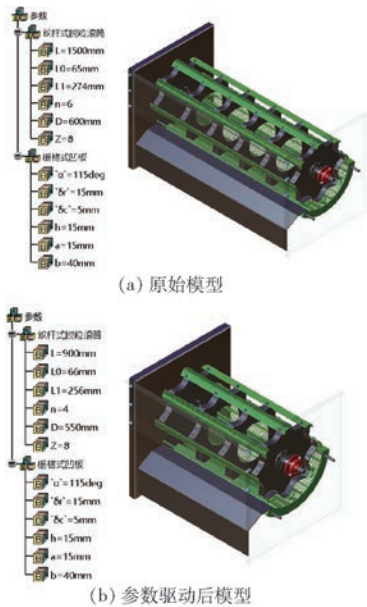


图 19 模型参数驱动界面

Fig. 19 Model parameter drive interface

完成后关闭当前模型,并通过点击“返回”按钮返回上一单元。完成纹杆滚筒式脱粒装置设计过程。

6 结论

(1)脱粒装置交互式设计系统将纹杆滚筒式脱



图 20 模型保存界面

Fig. 20 Saving model interface

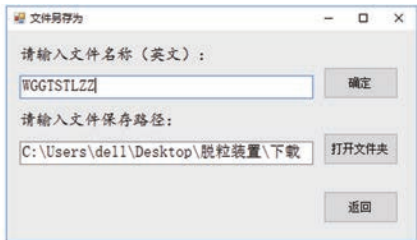


图 21 文件另存下载界面

Fig. 21 Saving file for download interface

粒装置复杂的设计过程封装起来,借助多种软件技术手段,将模型、参数计算等数字化资源与操作平台组织起来,联合运用,通过人机交互的方式进行产品设计。在降低研究人员专业性、提高开发产品准确性的同时,大大提高了工作效率,满足当前农机设计的个性化需求。同时,该技术手段具备良好的通用性,可将其移植到联合收获机其他部件的设计中,为研究该类问题提供借鉴。

(2)建立纹杆滚筒式脱粒装置的设计实例树与设计过程树,并从目标、输入、输出和过程体 4 方面对设计过程进行描述,实现设计重用。

(3)运用 Skeleton Design 建模方法,按照产品的最基本功能和要求,构筑顶层基本骨架,利用不断变更、发展的“顶层基本骨架”来控制整个产品设计,使得模型建立的灵活性与适应性增强,并且易于理解和应用,增强了模型的知识继承与重用性。

参 考 文 献

[1] 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.

[2] DAI X, DONG Y, QIN L. Research on variable structure parametric design system of ceramic tile mould based on modular [J]. Computer Aided Drafting Design and Manufacturing, 2014(2): 67-73.

[3] 吴清分. 国外联合收割机的最新发展趋势[J]. 拖拉机与农用运输车, 2019, 46(4): 1-4, 10.

WU Qingfen. Latest development trend of foreign combine harvesters[J]. Tractor & Farm Transporter, 2019, 46(4): 1-4, 10. (in Chinese)

[4] XU L, LI X, RAO J, et al. Computer aided design technology for convex faceted gem cuts based on the half-edge data structure [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2019, 28(3): 585-597.

[5] 阎楚良. 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.

[6] HE Y, XING Z, HOU H, et al. Development status and prospect of intelligent agricultural machinery equipment [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2019, 21(6): 8-19.

[7] CHEN J, WANG Y, LEI C, et al. Reverse solution and parametric design of the conjugate cam weft insertion mechanism based on VB.NET and UG [J]. Journal of Donghua University (English Edition), 2012, 29(2): 166-170.

[8] 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 building method of knowledge based rapid design expert of agricultural machinery professional chassis [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [9] 刘宏新,周兴宇,贾儒,等. 基于 CBR 的机械式大豆排种器设计重用技术[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(7): 39–50. LIU Hongxin, ZHOU Xingyu, JIA Ru, et al. Design and reuse technology of mechanical soybean seed-metering device based on CBR[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(7): 39–50. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190704&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.07.004. (in Chinese)
- [10] 王刚,吴崇友,伍德林. 我国通用型联合收割机现状与发展思考[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(6): 6–8, 26. WANG Gang, WU Chongyou, WU Delin. Current situation and development of universal combine harvester in China [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(6): 6–8, 26. (in Chinese)
- [11] 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. Development of advanced design technology and its application in agricultural equipment [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)
- [12] HUANG S, ZHANG Q, YU C. Application of parametric design to mechanical engineering[J]. International Journal of Plant Engineering and Management, 2008, 13(4): 242–247.
- [13] SONG C, BAO Z, YANG F, et al. Preliminary research on parametric design of plant landscapes [J]. Journal of Landscape Research, 2019, 11(5): 23–26.
- [14] 辛虹, 系列零部件三维参数化设计方法研究[J]. 机械设计与制造, 2013(4): 202–204. XIN Hong. Research of series parts 3D parametric design method[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013(4): 202–204. (in Chinese)
- [15] ZENG Q, WANG L. 3D structure parameterization design and modeling for irregular structure of slope bottom [J]. High Technology Letters, 2016, 22(1): 55–62.
- [16] 刘宏新,付露露,周兴宇. 基于规则转换的机械式排种器系列与变异变型设计[J]. 东北农业大学学报, 2015, 46(11): 77–85. LIU Hongxin, FU Lulu, ZHOU Xingyu, et al. Series and variation variant design of mechanical seed-metering device based on conversion of rule[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2015, 46(11): 77–85. (in Chinese)
- [17] LI Y, XIE Y, ZHANG Y. Research on parametric modeling method of product based on directed graph [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 529: 339–343.
- [18] DEMOLY F, ROTH S. Knowledge-based parametric CAD models of configurable biomechanical structures using geometric skeletons [J]. Computers in Industry, 2017, 92–93: 104–117.
- [19] 水俊峰,吴宗佳,陈树晓. 基于 SolidWorks 的自顶向下装配与参数化技术[J]. 机械工程与自动化, 2007(5): 9–11. SHUI Junfeng, WU Zongjia, CHEN Shuxiao. Research on top-down assembly and parametric technology based on SolidWorks [J]. Mechanical Engineering & Automation, 2007(5): 9–11. (in Chinese)
- [20] 常娟,刘德仿,王斌,等. 基于 NX 参数化自顶向下的设计方法及其在减速器中的应用[J]. 河北工业科技, 2014, 31(4): 316–320. CHANG Juan, LIU Defang, WANG Bin, et al. Top-down design method and its application in reducer based on NX parametric [J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2014, 31(4): 316–320. (in Chinese)
- [21] NECDET G, OSMAN O, MELIH B. Parametric design of automotive ball joint based on variable design methodology using knowledge and feature-based computer assisted 3D modeling [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2017, 66: 87–103.
- [22] WANG X, CHI Y, LI F, et al. Study on parametric design of roller conveyor based on top-down assembly modeling technology [J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 233: 361–364.
- [23] ZHANG Y, JIA H, ZHANG S. Rapid variant design of 2K–V type reducer by cascaded skeleton driven [J]. International Journal of Plant Engineering and Management, 2015, 20(3): 149–155.
- [24] 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): 384–394. 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): 384–394. 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)
- [25] 李宝筏. 农业机械学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [26] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [27] 蔡敏,胡善刚,陈丽娜,等. 基于模块化方法的复杂机械产品变型设计[J]. 机械设计与制造, 2013, 30(4): 24–28. CAI Min, HU Shan'gang, CHEN Li'na, et al. Variant design of complex mechanical products based on modular method[J]. Journal of Machine Design, 2013, 30(4): 24–28. (in Chinese)