

基于 Petri 网模型的收获机轴流式脱分选装置参数化设计

陈 霓¹ 刘正怀¹ 夏劲松² 王 冬³ 张正中¹ 陈德俊¹

(1. 金华职业技术学院机电工程学院, 金华 321017; 2. 浙江理工大学信息学院, 杭州 310018;

3. 中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 为实现设计的快速化和规范化,进行了基于喂入量变化的联合收获机轴流式脱分选装置的参数化设计研究。通过建立喂入量与相关设计参数的数学模型,获得可用于参数化设计的各个参数。在分析参数之间层次关系和依赖关系的基础上,利用 Petri 网模型、通过参数传递构建了简化设计的计算机模型并开发了设计平台。应用结果表明:当在程序界面中输入喂入量并选择相关数据后,能自动生成各种所需的结构参数(栅格式凹板包围面积、清选筛面积、脱粒滚筒齿数)以及工作参数(风量、功率);将某部件所得结构参数输入 UG 环境平台,可获得该部件的三维设计图样。经与现有成熟机型脱分选装置结构参数和工作参数比较可知,计算机模型生成的设计参数和工作参数规范,获得的三维图样符合设计要求。参数化设计平台不但可以进行脱分选装置的规范化设计、提高设计效率,还可以快速判别、修正现有机型脱分选装置的设计参数。

关键词: 联合收获机; 脱粒-分离-清选; Petri 网; 参数化; 设计方法

中图分类号: S225.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)11-0123-07

Parametric Design for Axial Flow Threshing – Separating – Cleaning Unit Based on Petri Model

CHEN Ni¹ LIU Zhenghuai¹ XIA Jingsong² WANG Dong³ ZHANG Zhengzhong¹ CHEN Dejun¹

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Jinhua Polytechnic, Jinhua 321017, China

2. School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China

3. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: To support rapid design of an axial flow threshing – separating – cleaning unit of combine harvester, a formal methodology, which is a parametric approach based on the throughput was proposed. By building a mathematical model to establish the relationship between the throughput and the related data, the parameters of parametric design can be obtained. On the basis of analysis of the hierarchical relationship and dependency between the parameters, a computer platform was developed to realize the simplified design by using the Petri net model to solve the complicated parameter transfer structure. The results showed that the system can automatically generate the required structural parameters (e. g., area of crosswise axial-flow threshing unit grate-type concave and area of longitudinal axial-flow threshing unit grate-type concave, area of scales sieve and area of shutters scales sieve, finger-tooth quantity of whole-feeding axial-flow threshing cylinder and finger-tooth quantity of head-feed threshing cylinder) and relevant working parameters (e. g. air volume and power) for a given throughput and some relevant data. By importing the result parameters into UG environment, the 3D model of the component can be reconstructed with these parameters. According to data comparison with the developed products, the design parameters of the computer model were accurate and reliable, and 3D model met the design requirements. Parametric design platform not only can carry out the standardized series design and improve the design efficiency, but also can help quickly refine the parameters of the existing products.

Key words: combine harvester; threshing – separating – cleaning; Petri NET; parametric; design method

收稿日期: 2017-02-24 修回日期: 2017-03-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(51305182)和浙江省自然科学基金项目(Y1110647)

作者简介: 陈霓(1973—),女,教授,主要从事现代农业机械设计与理论研究,E-mail: cyiny@163.com

通信作者: 陈德俊(1936—),男,教授,主要从事水稻收获机械设计与理论研究,E-mail: cdj0579@163.com

引言

脱粒分离和清选装置(简称脱分选装置)是决定稻麦联合收获机工作性能的核心工作部件。同类型、系列化联合收获机的脱分选装置类似通用化、标准化的定型产品,用于设计计算的数学模型及产品结构相对固定,仅在结构参数和工作参数上存在差异。喂入量是影响联合收获机脱分选装置工作性能的主要参数,相关学者开展了许多研究。陈度等^[1]探索了联合收获机喂入量与收获过程损失率之间关系,用二次方程建立的喂入量与收获过程损失率的数学模型能较好反映实际工况;江崎春雄等^[2]的实验结论认为:半喂入联合收获机随着工作流量(喂入量)的增加分离率有所下降,排草口夹带损失急剧增加;市川友彦等^[3]对通用型(全喂入)联合收获机的研究也得出了类似结果;文献[4-8]通过建立输送槽主动轴与喂入量之间的数学模型,提出了联合收获机喂入量测量方法和在线监测方法,通过试验获得了与主动轴扭矩对应的喂入量值。GOMEZ等^[9]在联合收获机上安装全球定位系统接收器和颗粒质量流量传感器,通过田间试验及相关数据处理,建立了基于喂入量的作业速度控制模型。对于以喂入量为前提的脱分选装置的参数化设计问题,闵敏等^[10]以MDT 3.0为设计平台,利用AutoLisp等开发工具,建立了以数据库为中心的三维参数化系统设计;陈田等^[11]以滚筒工作性能要求为依据,提出了一种由用户确定整个脱粒部件的技术数据,再根据系统存储的参数化结构模型及相应的参数库进行检索、查询来确定设计参数的轴流式联合收获机参数化设计的方法;徐静等^[12]采用功能分析的方法对脱粒装置进行了模块的划分,结合参数化建模技术,运用Solidworks的二次开发技术对其变参提高设计效率,达到缩短开发周期、减少生产成本的目的;孙江宏等^[13]肯定了数字化技术实施的优点,分析了其在农业机械中应用的不足,认为相对复杂的领域而言,必须在数学模型上加以突破;阎楚良等^[14-15]详尽论述了参数化设计的理论和方法,指出参数化为农机产品的可变性、重用性、并行设计等提供了手段,可方便地改动模型生成系列产品;周丰旭等^[16]在UG环境下对风筛式清选装置参数化系统进行了二次开发,可按设计要求自动生成或更新风筛式清选装置三维模型,缩短了产品的开发周期。吴庆鸣等^[17]提出了变型设计过程中参数的提取和传递的方法,但未能建立严格的模型,只能在一定条件下避免参数的干涉。以上研究表明,喂入量是联合收获机脱分选装置设计的主要依据,为规范设计

参数和提高设计效率,学者们以不同方法和手段进行了喂入量检测、计算和以喂入量为前提的参数化设计研究。但基于Petri网进行参数化设计研究未见报道。Petri网被广泛应用于控制科学和系统科学的交叉领域,是对离散并行系统的数学表示,按引发规则驱动离散事件的演变,能充分描述参数的层次结构和多参数的异步传递关系。本文基于Petri网预设脱分选装置数学模型,利用多目标参数依赖关系和相互传递的方法创建设计平台,对脱分选装置参数化设计进行研究,以达到脱分选装置设计规范化和高效率的目的。

1 喂入量与工作性能的数学模型

1.1 杆齿式轴流脱粒装置的生产率

轴流式脱粒装置是依靠脱粒滚筒和栅格式凹板对作物进行多次加工而完成脱粒和分离的,因此决定其生产率的因素除与结构有关外,主要取决于脱粒滚筒与凹板的作用面积,即栅格式凹板的包围面积^[18]。轴流式脱粒装置的生产率 q 计算式为

$$q = Fa = LR\beta a \tag{1}$$

其中

$$F = LR\beta = \frac{q}{a}$$

式中

- F ——弧形栅格式凹板包围面积, m^2
- a ——凹板单位面积生产率, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 取 1.4 ~ 2.0
- q ——轴流式脱粒装置的生产率,即联合收获机允许的喂入量, kg/s
- L ——栅格式凹板长度, m
- R ——弧形栅格式凹板半径,即圆心至栅格式凹板横隔板上表面距离, m
- β ——栅格式凹板包角, rad

1.2 清选筛的生产率

清选筛的生产率取决于清选筛面积,而清选筛面积由进入清选筛的谷粒混合物的数量决定^[19]。脱粒分离出来的物料都进入清选筛清选,所需清选筛面积计算式为

$$F_1 = L_1 B_1 = \frac{\xi}{a_1} q \tag{2}$$

式中

- F_1 ——清选筛面积, m^2
- L_1 、 B_1 ——清选筛长度、宽度, mm
- ξ ——喂入量中已脱粒分离的比例,取 0.40 ~ 0.45
- a_1 ——清选筛单位面积生产率(混合物), $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

联合收获机鱼鳞筛和编织筛的 a_1 为1.5 ~ 2.5;百叶窗式鱼鳞筛籽粒下落面积比传统冲孔鱼鳞筛大

一倍以上,根据经验数据, a_1 上限取 $5.0\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。
潮湿作物需减少 30%。

1.3 清选风扇风量

清选所需的风量取决于谷粒混合物应清除的杂质质量^[19],当联合收获机喂入量为 q 时,清选风扇所需风量计算式为

$$Q = \frac{\lambda q}{\mu\rho} \tag{3}$$

式中 Q ——风量, m^3/s
 μ ——带杂质气流的浓度比,取 $0.2 \sim 0.3$
 ρ ——空气密度,取 $1.2\text{ kg}/\text{m}^3$
 λ ——需清除的杂质在喂入量中所占的比例, %

全喂入机型:水稻 λ 为 $10\% \sim 15\%$,小麦 λ 为 $15\% \sim 20\%$;半喂入机型:水稻 λ 为 $8\% \sim 12\%$,小麦 λ 为 $10\% \sim 15\%$ 。

1.4 脱粒滚筒齿数

脱粒滚筒齿数 z 由脱粒装置的生产率(联合收获机喂入量 q)决定^[19]。

$$z \geq \frac{(1 - \psi)q}{0.6q_d} \tag{4}$$

式中 ψ ——喂入作物中籽粒质量所占比率
 q_d ——脱粒滚筒每个杆齿生产率, kg/s , 当 $\psi = 0.4$ 时,全喂入 q_d 取 $0.025\text{ kg}/\text{s}$

据测定,半喂入脱粒滚筒每个弓齿的生产率可参照全喂入 q_d 计算。

2 脱分选装置参数化设计计算机模型

通过对模型进行参数化分析,研究了参数的传输依赖关系并编写了计算机软件。基于喂入量的参数化设计模型,为不同喂入量等级联合收获机系列产品的轴流式脱分选装置建立了快速设计平台。利用 Petri 网模型,设计了符合参数传递规则和依赖关系的参数输入系统,建立了三维模型图库。用户输入喂入量和相关设计参数,系统可通过参数传递,驱动完成模型的参数化设计并生成新的产品三维模型,快速实现脱分选装置参数化设计。

2.1 各部件结构参数选择

(1)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,在设计阶段是通过计算或者设计师交互输入给定。

(2)装配尺寸

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。

(3)标准系列参数

即标准件的尺寸系列数据,这些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。

2.2 脱分选装置参数化设计的计算机模型

通过数学模型分析,可得到参数化设计中关键尺寸参数及装配尺寸约束。参数化过程的实质就是变形参数在整个产品模型中的传递,并且最终反映到某些零部件的设计参数上。然而,一个复杂的机械产品,其参数间有依赖关系并且互相制约。这种有制约的依赖关系往往需要设计人员凭经验依据合理的顺序和约束规则来进行人工调整。为了用计算机软件 CAD 来辅助产品设计,帮助管理约束和关联以实现参数驱动的自动化设计,需要对参数进行分析。一般采用自顶向下分阶段的设计,即先部件级设计,再组件级设计,最后元件级设计。为描述这种级联的控制约束关系,采用 Petri 网来建模(图 1)。

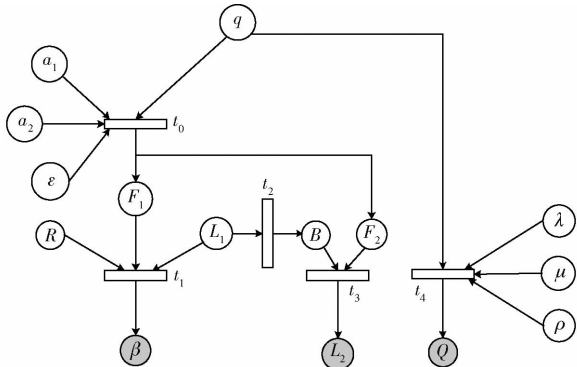


图 1 参数分析 Petri 网模型
Fig. 1 Petri model of parameters

模型中,变迁表示一次成功的计算;库所表示一次成功的计算需要获得的参数资源;用箭头变迁及上标表示一次成功的计算需要消耗参数资源的数量。基于 Petri 网的参数分析模型能够表示出参数依赖的层次关系和依赖关系。

(1)产品参数分析

在自顶向下的参数设计过程中,需要解决以下问题:参数传递的顺序问题;参数对其它参数的影响度。因此把参数分为 4 类。

总体参数:是影响整个产品功能、结构的主要性能参数。喂入量 q 是影响整个产品功能、结构的主要性能参数,直接影响关键部件脱粒滚筒的栅格式凹板包围面积 F 和清选风扇的风量 Q 以及清选筛的面积 F_1 。因此采用以喂入量 q 为总体参数,依据 Petri 图的结果,自然形成 3 个设计模块,即栅格式凹板、清选筛、清选风扇模块。

辅助参数:辅助参数是 Petri 图中影响一次计算(变迁)的辅助因素。它的存在会影响到设计结果,

它的选取是在一个较小的范围对设计结果进行微调。例如变迁 T_0 的辅助参数是 ξ , 喂入量中已脱粒分离的比例, 通常的取值范围是 $0.40 \sim 0.45$, 等等, 辅助参数需要在设计软件中进行参数范围的检查以确保符合设计的要求。

中间参数: 这些参数是上一层参数设计后计算的结果, 同时, 也是下一层部件设计的约束。但它们本身不是设计的结果。如栅格式凹板包围面积 F 和清选筛面积 F_1 。

目标参数: 是产品模型的驱动参数, 它是新的产品设计参数, 被用来驱动三维参数化图形软件形成产品的三维设计模型。例如, 在脱粒滚筒参数决定模块中, 先是由喂入量 q 这个总体参数来触发一次设计, 在辅助参数的作用下, 完成一次变迁, 形成中间参数 F , 继而进一步确定脱粒滚筒的参数 R 、 L 和 β , 这 3 个目标参数会去驱动三维建模软件, 形成变形后的新三维设计图。

(2) 参数传递图

根据参数分析, 给出参数传递图(图 2)。该图反映了自顶向下的设计结构。

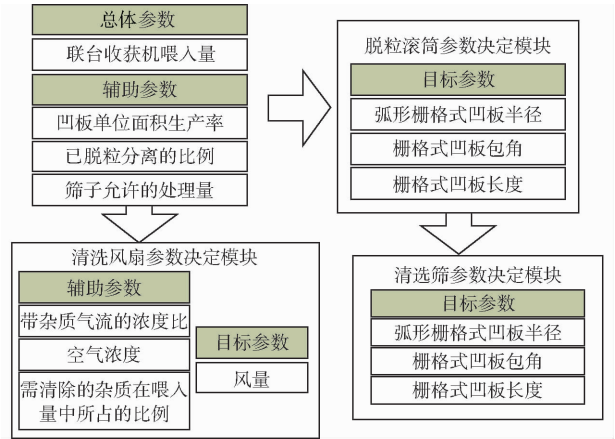


图 2 参数传递关系图

Fig. 2 Transitive relationship diagram of parameters

(3) 参数计算序

Petri 网是对离散并行系统的数学表示, 适用于描述异步的、并发的计算机系统模型。能够刻画出参数驱动的本质。可以看到, 本模型中, T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 就是一个合理的参数驱动顺序。另外, T_0 、 T_4 、 T_1 、 T_2 、 T_3 也是合理的参数驱动顺序。

(4) 局部辅助计算

在脱粒滚筒模块局部计算中, T_1 变迁需要被多次执行, 设计人员需根据经验反复测试这 3 个参数的区间范围来获得理想的 R 、 L 、 β 。为此, 程序设计了局部辅助解。

根据式(1), 当 F 被确定后, R 、 L 、 β 存在多组解。根据经验规则, 给出如下算法:

给出 L 和 R 的初始值, $L = 600, R = 200$ 。
DO WHILE (L 和 R 在最大值以内)
IF β IN ($220^\circ \sim 230^\circ$), 则输出一组解并退出
否则增加 L 和 R 的值
step = 20
END DO
IF 无解
则将 β 范围扩展到 ($180^\circ \sim 240^\circ$)
重复上述循环
IF 仍无解, 给出提示

3 设计平台构建

3.1 设计流程图和程序界面

利用 Petri 网模型开发符合参数传递规则和依赖关系的参数输入系统和储有所需零部件三维模型实例库, 用户输入设计参数, 系统通过参数传递驱动产品设计, 完成模型的参数化设计, 系统能生成新的产品设计参数, 并在 UG 环境下自动生成三维模型。设计流程如图 3 所示, 新的产品设计参数由程序界面(图 4)生成。

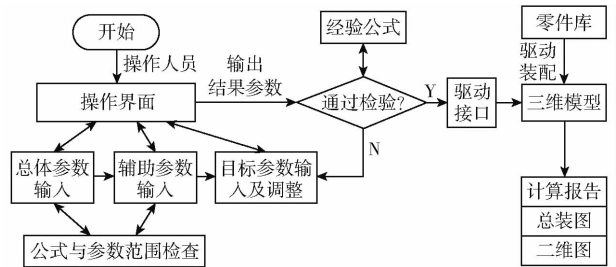


图 3 设计流程图

Fig. 3 Procedure diagram of design



图 4 程序界面

Fig. 4 Interface of program

3.2 三维模型生成

通过结构研究与参数分析开发的设计平台已将参数的设计流程融入到软件中。设计者输入总体参数喂入量 q , 继而选择并输入各辅助参数, 通过对输入参数的判断、处理, 系统在判定满足变迁的条件之后, 形成一次变迁, 获得中间参数, 最后对目标参数进行分析和验证, 得到新的产品实例。通过三维平

台的接口,可获得新设计产品的三维图。例如将在程序界面上输入和将自动生成的栅格式凹板所有参数打包储存于程序界面,将其输出并导入 UG 环境即可生成横轴流杆齿脱粒滚筒等 8 种三维模型,如图 5~12 所示。

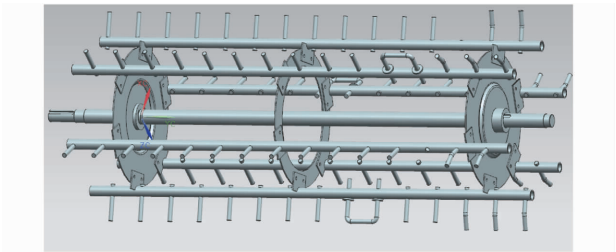


图 5 全喂入横轴流杆齿脱粒滚筒三维模型
Fig.5 3D model of finger-tooth threshing cylinder for crosswise axial-flow

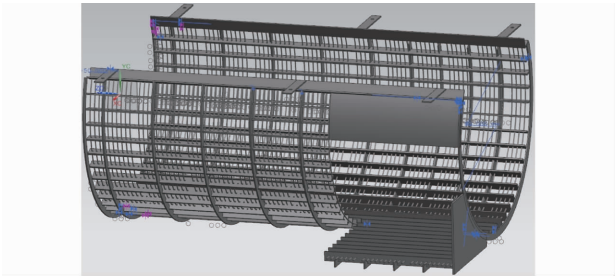


图 6 全喂入横轴流脱粒装置栅格凹板三维模型
Fig.6 3D model of grate-type concave for threshing unit of crosswise axial-flow

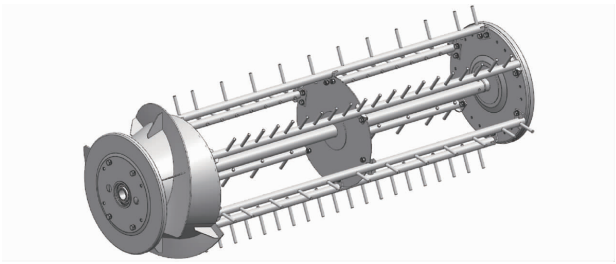


图 7 全喂入纵轴流脱粒杆齿脱粒滚筒三维模型
Fig.7 3D model of finger-tooth threshing cylinder for longitudinal axial-flow

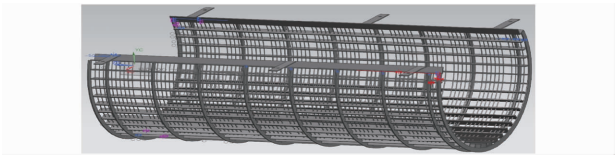


图 8 全喂入纵轴流脱粒装置栅格凹板三维模型
Fig.8 3D model of grate-type concave for threshing unit of longitudinal axial-flow

4 联合收获机脱分选装置参数化

在选用栅格式凹板单位面积生产率 a ($1.4 \sim 2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) 和清选筛单位面积生产率 a_1 (联合收获机的鱼鳞筛和编织筛为 $1.5 \sim 2.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 百叶窗式鱼鳞筛籽粒下落面积比传统的冲孔鱼鳞筛大一倍以

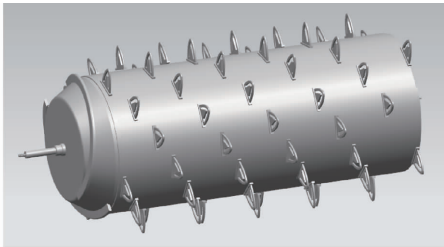


图 9 半喂入脱粒滚筒三维模型
Fig.9 3D model of head-feed threshing rotor

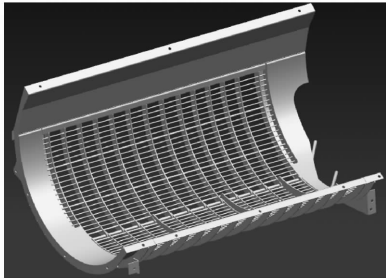


图 10 半喂入脱粒装置栅格式凹板三维模型
Fig.10 3D model of grate-type concave for head-feed threshing unit

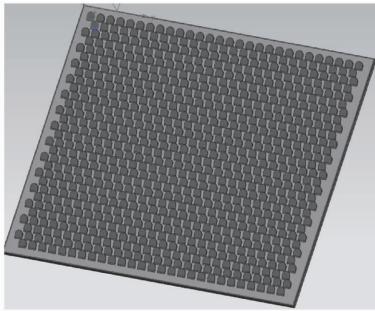


图 11 鱼鳞式清选筛三维模型
Fig.11 3D model of scales sieve

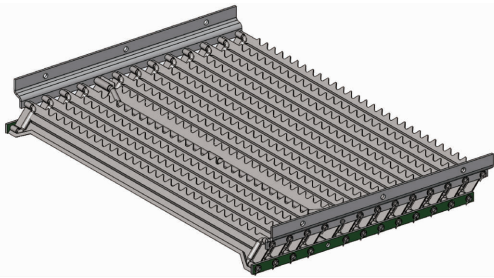


图 12 百页窗式鱼鳞筛三维模型
Fig.12 3D model of shutters scales sieve

上,故 a_1 上限取 $5.0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) 时,取上限值的 80%。

4.1 全喂入机型

4.1.1 横轴流机型,喂入量 $q = 1.8 \text{ kg/s}$

(1) 程序界面生成设计参数

在程序界面中输入“喂入量 $q = 1.8 \text{ kg/s}$ ”,选择“全喂入机型”,输入栅格凹板单位面积生产率 $a = 1.6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和鱼鳞筛单位面积生产率 $a_1 = 2.0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (a 和 a_1 取上限的 80%), 进行相关操作后程序界面可自动生成以下参数:

栅格式凹板面积 $F = 1.125 \text{ m}^2$; 清选筛面积 $F_1 = 0.9 \text{ m}^2$; 栅格式凹板包角 $\beta = 218.5009^\circ$; 清选筛长 $L_1 = 918.3673 \text{ m}$; 脱粒分离功耗 $N = 14.4 \text{ kW}$; 风量 $Q = 0.7090909 \text{ m}^3/\text{s}$; 脱粒滚筒齿数 $Z = 71.99999$ 。

(2) 4LZS-1.8 型全喂入联合收获机实际设计参数

凹板内侧半径(圆心至栅格凹板横隔板上表面距离) $R = 290 \text{ mm}$, 凹板面积 $F = 0.93 \text{ m}^2$; 栅格式凹板包角 $\beta = 220^\circ$, 主筛鱼鳞筛宽 $B_1 = 980 \text{ mm}$, 筛长 $L_1 = 730 \text{ mm}$, 清选筛面积 $F_1 = 0.72 \text{ m}^2$; 当清选风扇转速为 1120 r/min 时, 计算风量 $Q = 0.72 \text{ m}^3/\text{s}$ 。轴流滚筒齿数为 76。

(3) 生成结构参数与实际结构参数比较

a 值和 a_1 值取上限的 80% 时, 实际栅格式凹板面积 F 比计算面积小 0.195 m^2 ; 实际清选筛面积 F_1 比计算面积小 0.18 m^2 。

4.1.2 纵轴流机型, 喂入量 $q = 2.5 \text{ kg/s}$

(1) 程序界面生成设计参数

在程序界面中输入“喂入量 $q = 2.5 \text{ kg/s}$ ”, 选择“全喂入机型”, 选择栅格凹板单位面积生产率 $a = 1.6 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 选择百叶窗式鱼鳞筛单位面积生产率 $a_1 = 4.0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (a 和 a_1 取上限的 80%), 进行相关操作后程序界面自动生成以下参数: 栅格式凹板面积 $F = 1.5625 \text{ m}^2$; 清选筛面积 $F_1 = 0.625 \text{ m}^2$; 栅格式凹板包角 $\beta = 197.7309^\circ$; 清选筛长度 $L_1 = 791.1392 \text{ mm}$; 脱粒分离功耗 $N = 20 \text{ kW}$; 风量 $Q = 0.9469697 \text{ m}^3/\text{s}$; 脱粒滚筒齿数 $Z = 95.99999$ 。

(2) 4LZZ-2.5 型纵轴流联合收获机实际结构参数

栅格凹板长度 $L = 1372 \text{ mm}$, 弧形栅格凹板半径 $R = 330 \text{ mm}$, 栅格凹板包角 $\beta = 220^\circ$, 栅格式凹板面积 $F = 1.74 \text{ m}^2$; 主筛为百页窗式鱼鳞筛, 筛宽 $B_1 = 790 \text{ mm}$, 筛长 $L_1 = 660 \text{ mm}$, 清选筛面积 $F_1 = 0.52 \text{ m}^2$; 当清选风扇转速为 1336 r/min 时, 计算风量 $Q = 1.05 \text{ m}^3/\text{s}$; 轴流滚筒齿数 90, 1336 r/min 时, 计算风量 $Q = 1.05 \text{ m}^3/\text{s}$; 轴流滚筒齿数 90。

(3) 生成结构参数与实际结构参数比较

a_1 取上限的 80% 时, 实际清选筛面积 F_1 比计算面积小 0.1056 m^2 。

4.2 半喂入机型(四行机)

(1) 程序界面生成设计参数

在程序界面中输入喂入量“ $q = 4.5 \text{ kg/s}$ ”(虚拟

值, 籽粒流量 1.5 kg/s), 选择“半喂入机型”, 选择栅格式凹板单位面积生产率 $a = 2.0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$; 清选筛为百叶窗式鱼鳞筛, 选择单位面积生产率 $a_1 = 4.0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 进行相关操作后程序界面可自动计算生成以下参数: 栅格式凹板面积 $F = 0.6425 \text{ m}^2$; 清选筛面积 $F_1 = 0.37125 \text{ m}^2$; 栅格式凹板包角 $\beta = 162.2807^\circ$; 清选筛长度 $L_1 = 562.5 \text{ mm}$; 脱粒分离功耗 $N = 4.455 \text{ kW}$; 风量 $Q = 0.5625 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

(2) 4LBZ-145 型半喂入联合收获机实际结构参数

栅格式凹板宽度 $B = 750 \text{ mm}$, 弧形栅格凹板半径(圆心至栅格凹板横隔板上表面距离) $R = 295 \text{ mm}$, 栅格式凹板面积 $F = 0.57 \text{ m}^2$, 栅格式凹板包角 $\beta = 146^\circ$; 清选筛宽度 $B_1 = 660 \text{ mm}$, 清选筛长 $L_1 = 590 \text{ mm}$, 清选筛面积 $F_1 = 0.39 \text{ m}^2$; 当清选风扇转速为 1120 r/min 时, 计算风量 $Q = 0.74 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

(3) 生成结构参数与实际结构参数比较

a 取上限时, 实际栅格凹板面积 F 比计算面积小 0.0725 m^2 ; 实际栅格式凹板包角 β 比计算包角小 16° 。但实际结构在弧形栅格凹板的始端和末端都设有多孔板, 合计包角约 40° , 一定程度也替代了栅格凹板功能。

5 结论

(1) 通过脱分选装置的理论方程式, 可以建立不同机型栅格凹板面积、清选筛面积、清选风机风量、脱粒滚筒齿数等与喂入量之间关系的数学模型, 获得可用于参数化设计的各个参数。利用 Petri 网开发的参数化设计平台, 可实现脱分选装置的三维参数化设计, 快速计算所需的设计参数, 并在 UG 环境下自动生成或更新机械零件三维模型。

(2) 程序在不同条件要求下生成的各设计参数, 经与相应的市售成熟机型脱分选装置相应结构参数和工作参数比对, 大部分数据相近, 也发现实际设计的参数还需修正。同时, 参数化设计的预设条件也可在一定范围内取值, 扩大了设计平台的应用范围。

(3) 通过参数传递表弥补了简单 Petri 网不能表达参数分类的缺陷。参数化设计提高了设计的效率, 缩短了设计周期。利用 Petri 网开发的参数化设计平台具有实际应用价值。

参 考 文 献

- 1 陈度, 王书茂, 康峰, 等. 联合收割机喂入量与收获过程损失模型[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 18-21.
CHEN Du, WANG Shumao, KANG Feng, et al. Mathematical model of feeding rate and processing loss for combine harvester [J].

- Transactions of the CSAE,2011,27(9): 18-21. (in Chinese)
- 2 江崎春雄,三浦恭志郎,今园支和,等. 自脱コンバインの高性能化に関する研究[M]. 日本农业机械化研究所,1972:28-30.
- 3 市川友彦,杉山隆夫,高桥弘行. 汎用コンバインを開発研究(第2報)——水稻收获性能[J]. 农业机械学会誌,1996,58(4):87-94.
- 4 陈进,李耀明,季彬彬,等. 联合收割机喂入量测量方法[J]. 农业机械学报,2006,37(12):76-78.
CHEN Jin,LI Yaoming,JI Binbin, et al. Study on measurement method of combine feed quantity[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2006,37(12): 76-78. (in Chinese)
- 5 梁学修,陈志,张小超,等. 联合收割机喂入量在线监测系统设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(增刊2):1-6.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2013s201&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.001.
- LIANG Xuexiu,CHEN Zhi,ZHANG Xiaochao, et al. Design and experiment of on-line-monitoring system for feed quantity of combine harvester[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(Supp.2): 1-6. (in Chinese)
- 6 MIOSZ T. Quality of combine-harvester performance as affected by construction of selected threshing-separating assemblies[J]. Problemy Inzynierii Rolniczej, 1994, 2(4):23-34.
- 7 潘静,邵陆寿,王轲,等. 稻联合收割机喂入密度检测方法[J]. 农业工程学报,2010,26(8):113-116.
PAN Jing,SHAO Lushou,WANG Ke, et al. Detection method on feed density for rice combine[J]. Transactions of the CSAE, 2010,26(8):113-116. (in Chinese)
- 8 陈进,李耀明,宁小波,等. 联合收获机前进速度的模型参考模糊自适应控制系统[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(10):87-91,86. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20141014&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.10.014.
- CHEN Jin,LI Yaomin, NING Xiaobo, et al. Study on measurement method of combine feed quantity[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(10):87-91,86. (in Chinese)
- 9 GOMEZ G J, LOPEZ L J, NAVAS GRACIA L M. The spatial low-pass filtering as an alternative to interpolation methods in the generation of combine harvester yield maps[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2011,27(6):1087-1097.
- 10 闵敏,桑正中,王新忠,等. 联合收获机脱粒装置三维参数化系统设计[J]. 农业机械学报,2001,32(2):42-44.
MIN Min,SANG Zhengzhong,WANG Xinzhong, et al. A three-dimensional parametril design system for threshing device[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2001,32(2): 42-44. (in Chinese)
- 11 陈田,殷国富,崔新维,等. 联合收获机脱粒滚筒参数化 CAD 方法的研究[J]. 机械工程学报,2001,37(1):104-108.
CHEN Tian, YIN Guofu, CUI Xinwei, et al. Study on parameterized CAD method for threshing cylinder of combine harvester[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2001, 37(1):104-108. (in Chinese)
- 12 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 parameter modeling for threshing device of combine harvester[J]. Guizhou Science,2013,31(4):33-36. (in Chinese)
- 13 孙江宏,徐小力,闰楚良,等. 纵向轴流式联合收割机参数化设计分析[C]//中国农业机械学会2006年学术年会论文集,2006:843-845.
- 14 阎楚良. 农业机械数字化设计新技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2003.
- 15 阎楚良,杨方飞. 机械数字化设计新技术[M]. 北京:机械工业出版社,2007:54-60.
- 16 周丰旭,李耀明,徐立章,等. 基于UG的风筛式清选装置参数化系统二次开发[J]. 机械设计与制造,2011(1):94-96.
ZHOU Fengxu,LI Yaoming,XU Lizhang,et al. Parametric design and development of the air and screen cleaning mechanism based on UG[J]. Machinery Design & Manufacture, 2011(1):94-96. (in Chinese)
- 17 吴庆鸣,宗驰,张强,等. 复杂产品变型设计及其参数传递方法研究[J]. 中国机械工程,2008,19(24):2955-2960.
WU Qingming, ZONG Chi, ZHANG Qiang, et al. Research on variant design and parameter transfer method for complicated products[J]. China Mechanical Engineering, 2008,19(24): 2955-2960. (in Chinese)
- 18 王成芝,葛永久. 轴流滚筒试验研究[J]. 农业机械学报,1982,13(1):55-72.
WANG Chengzhi, GE Yongjiu. A research on axial-flow threshing cylinder[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1982,13(1): 55-72. (in Chinese)
- 19 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.