

基于数字车间的联合收获机制造品质终检系统研究

倪昕东¹ 陈 度² 王书茂¹ 邓志恒¹

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学现代农业装备优化设计北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要: 针对联合收获机整机制造品质检测自动化水平不高、缺乏成套检测系统等问题, 结合国家相关标准规范和企业实际需求, 提出了2种整机制造品质检测方案, 即多工位流水线式检测和多功能单元线式检测。通过数字化手段建立了2种整机制造品质检测系统的虚拟仿真模型, 包括联合收获机、车间、检测仪器设备、传感器和虚拟工人等, 并在 Visual Components 环境中分别对2种检测系统进行了仿真, 对2套检测方案的适用范围、人员作业强度、仪器使用效率等进行了分析。仿真结果表明, 多功能单元线式检测系统更适合联合收获机整机制造品质的检测。在建模仿真的基础上, 以联合收获机电气系统为检测对象, 开发了基于虚拟仪器技术的检测系统, 实现了对整机电器工况、起动机等工作参数的快速检测, 提高了检测效率。本研究通过构建数字车间仿真模型为检测工艺评估和系统开发提供了有效的评价方法, 进而为制造品质检测优化提供了支撑。

关键词: 联合收获机; 制造品质; 终检系统; 数字化车间; 虚拟仿真

中图分类号: S225.3; S220.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)12-0166-09

OSID:



End-of-line Inspection System of Combine Harvester Manufacturing Quality Based on Digital Workshop

NI Xindong¹ CHEN Du² WANG Shumao¹ DENG Zhiheng¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Beijing Key Laboratory of Optimized Design for Modern Agricultural Equipment, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Aiming at the problems in the combine harvester manufacturing industry, including the low automation level of the combine harvester manufacturing quality inspection, the lack of a complete inspection system and other problems, combined with relevant national standards and the actual needs of the enterprise, two kinds of combine harvester manufacturing quality inspection plans were proposed, one was multi-station pipelined inspection system, the other was multi-functional cell-line inspection system. The virtual models of the two combine harvester manufacturing quality inspection systems were established through digital means, the models included combine harvester, inspection equipment and instrument, sensors, workshop and virtual workers. The two inspection systems were simulated in the Visual Components environment respectively to analyze the applicable scope, work intensity, the efficiency of the equipment and instrument, and other workshop operation parameters. And the simulation results showed that the multi-functional cell-line inspection system was more suitable for combine harvester manufacturing quality inspection. On the basis of modeling and simulation, with the electrical system of combine harvester as the object, a set of inspection system based on virtual instrument technology was developed to realize the fast testing of the electrical working conditions, starting performance and other working parameters, which improved the inspection efficiency. The research results show that the construction of digital workshop simulation model can provide effective evaluation methods for inspection process evaluation and system development, thereby providing strong support for manufacturing process optimization.

Key words: combine harvester; manufacturing quality; end-of-line inspection system; digital workshop; virtual simulation

收稿日期: 2020-08-23 修回日期: 2020-09-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0700204)

作者简介: 倪昕东(1993—), 男, 博士生, 主要从事机电一体化研究, E-mail: nxd@cau.edu.cn

通信作者: 陈度(1981—), 男, 高级工程师, 主要从事智能农机装备和计算机测控技术研究, E-mail: tchendu@cau.edu.cn

0 引言

联合收获机是复杂的农机装备,其制造过程通常需要历经下料、机加工、焊接、喷漆、部装、总装、检验等上百道工序,属于典型的离散制造过程,具有物料品类多样、生产环节繁杂、过程控制多变等特点。为适应不同区域农艺生产模式的多样性,我国联合收获机设计制造过程还存在定制化程度高、制造品质控制难等问题,影响了整机产品的作业性能和可靠性,进而成为制约我国联合收获机产品走向国际市场的重要因素。

数字车间是数字化、网络化技术在车间工厂的综合应用。数字车间以机加工中心、机器人、传感单元、自动测试系统等自动化设备为物理基础,搭建车间各元素的数字模型,通过车间管控系统和数字模型与物理基础之间的深度融合,将车间制造过程以可视化形式呈现,实现了制造过程的精准直观管控^[1-2]。在高端装备制造领域,为了保证产品的制造品质,结合数字车间技术已经进行了产品设计、制造过程监控及质量检测等方面的研究。在航空航天制造领域中,传统的设计制造手段已无法满足现代航空航天制造业对装配精度和生产效率的需求^[3],通过数字化装配、生产制造工艺规划与装配仿真结合的方法^[4-5],在仿真平台上完成虚拟装配后生成车间指令,实现零部件加工“一次性正确”和装配无缝连接^[6]。波音 787 生产线上数字化检测技术已得以实现,通过三维空间检测技术与质量控制手段建立数字化检测体系,实现了精准定位和安全装卸^[7]。在高端汽车生产制造过程中,车间生产正逐渐从自动化朝着数字化方向转型,以产品生命周期管理模式实现了从产品设计、工艺规划、生产制造到维护预警^[8-10]的虚拟生产和质量监控仿真,确保整

车产品的质量和一致性。

在农机装备领域,发达国家制造企业已经广泛采用在线检测、质量自动调控、数字化评估模型等技术和平台对产品制造品质进行监控,极大地提升了关键零部件及整机的制造品质和产品一致性^[11-14];我国对关键部件的检测技术已逐渐成熟,采用激光测距实现包括滚筒圆柱度及外辐盘焊接垂直度在内的联合收获机脱粒滚筒焊接质量检测技术^[15]、通过工业相机开发基于机器视觉的收获机械发动机孔组位置度误差检测技术^[16]等都为农机装备制造品质和工作性能的检测提供了解决思路,但针对整机制造品质尚未形成较为成熟的制造过程质量检测与评价体系。目前,联合收获机的制造品质检测主要采用人工查验方式,其数字化和自动化水平低,产品质量评价以专业人员经验为主,缺乏成套的自动化检测设备及定量评价手段,亟需对联合收获机制造品质快速检测方法和检测系统进行研究。

本文以联合收获机整机制造品质评价为研究对象,构建整机制造品质终检系统数字车间虚拟仿真模型,利用 Visual Components 平台对设计的多工位流水线式和多功能单元线式 2 种工艺布局的适用性、检测节拍、仪器利用率等车间运行参数进行仿真分析。在此基础上,开发联合收获机电气检测系统,并通过车间生产实验对系统的适用性进行验证。

1 整机制造品质检测方法

1.1 检测项目确定

联合收获机制造品质检测项目的确定依据主要包括:①国家及行业对联合收获机的制造品质提出的规定和要求(表 1)。②联合收获机制造企业结合产品特点规定的技术需求和实际生产需要。

表 1 联合收获机制造品质相关标准

Tab. 1 Manufacturing quality related standards for combine harvester

标准号	标准名称	主要内容
GB 16151.12—2008	农业机械运行安全技术条件第 12 部分:谷物联合收割机	规定了谷物联合收获机的整机及其发动机、传动系、转向系、制动系、机架及行走系、割台、脱粒部分、粮箱、集草箱、集糠箱及茎秆切碎器、驾驶室和外罩壳、液压系统、照明和信号装置有关作业安全的技术要求 ^[17]
JB/T 5117—2006	全喂入联合收割机技术条件	规定了全喂入联合收割机主要性能指标、安全、技术要求、出厂试验、检验规则以及标志、包装、运输和贮存
GB/T 20790—2006	半喂入联合收割机技术条件	规定了半喂入联合收割机主要性能指标、安全、技术要求、出厂试验、检验规则以及标志、包装、运输和贮存

结合国家相关行业标准和企业具体需求,本文提出的联合收获机制造品质终检系统的检测项目(表 2)将从联合收获机的作业安全、环保指标和电液系统工作性能 3 方面进行检测和评价。

1.2 检测方案设计

根据确定的检测项目,设计了多工位流水线式检测系统和多功能单元线式检测系统 2 种布局方案,以“检测流程有序、合理高效利用空间”的原则

表2 整机检测项目
Tab.2 Machine inspection items

检测类别	检测项目	检测参数	检测方法/仪器设备
作业安全	转向轮定位	前束值、外倾角	四轮定位仪
	制动性能 ^[18]	制动力、脚踏板力、车轮阻滞力、轴重	反力式滚筒实验台
	灯光 ^[19]	光强	灯光检测仪
环保指标	排放 ^[20]	光吸收系数	不透光烟度计
	噪声 ^[21]	声强	声级计
电液系统	电气系统	电器工况、起动机性能、发动机参数及故障	电流传感器、CAN 诊断仪等
	液压系统 ^[22]	工作压力、油箱温度	压力传感器、温度传感器

对2种检测方案进行布局规划。

在多工位流水线式检测系统中,通过整合检测功能,将各检测项目分布于转向轮定位检测、制动及液压性能检测、灯光噪声及排放检测和电气性能检测4个检测工位中(图1)。以生产流水线形式连续、高效、有序地进行联合收获机制造品质检测,4个工位之间相互独立、便于管理,适合于日产量较高的产品型号。另外,对于检测过程中发现的部分生产和装配问题,可以安排专业人员进入检测工位,进行故障的排查和处置,提升生产效率。但是,流水线式检测布局方案需要对现有检测车间进行大幅改造,整体投资大,且在生产过程中需要投入较多的专业检测人员。

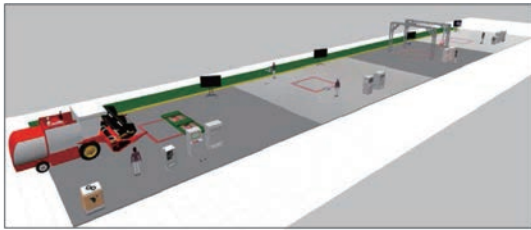


图1 多工位流水线式检测方案

Fig.1 Multi-station pipelined inspection system

不同于多工位流水线式检测系统,多功能单元线式检测系统将各检测项目集成于单个车间工位中,布局方案设计源于单元线(Cell line)^[23]生产方式,具有占用空间小、建线周期短、检测人员投入少等优点。综合考虑现场空间、仪器设备间干涉、布局合理性、操作流程顺畅性等问题,设计的多功能单元线式检测车间如图2所示。

2 数字检测车间建模与仿真

在传统生产制造过程中,车间的运行和管理模式存在诸多亟需改进的问题,比如,车间内大量信息由人工统计完成,以书面文件形式汇报,数据整理时间长且数字化程度低;生产制造多以多车间协同作业进行,协同管理难,任务分配工作量大;离散型制造过程物料品类多样、生产环节繁杂、过程控制多变,制造过程质量监控难^[24]。在工业4.0背景下,



图2 多功能单元线式检测方案

Fig.2 Multi-functional cell-line inspection system

通过数字化系统平台实现多车间运行的协同管理,将有效提升生产质量的智能化水平和生产效率^[25]。

2.1 系统建模

选用 Visual Components 作为检测系统的仿真环境(图3),能够实现对车间环境、仪器设施、虚拟人员等复杂模型的快速修改和指令变更。Visual Components 中进行模拟仿真的对象即为组件,使用 SolidWorks 建模软件对联合收获机整机制造品质终检系统所使用的传感模块、检测仪器、生产车间以及被测对象进行三维建模,并导入 Visual Components 创建为仿真组件,将检测方案映射到三维建模平台,有效评估联合收获机整机制造品质终检系统设计方案的可行性、适用性和合理性。

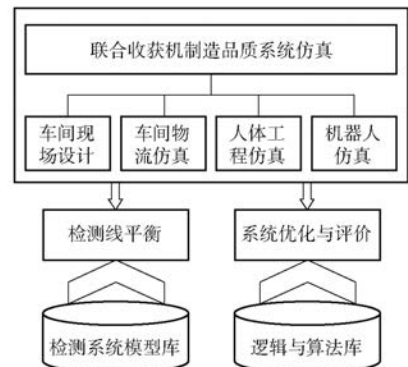


图3 Visual Components 仿真环境

Fig.3 Visual Components simulation environment

在 Visual Components 中进行检测系统数字车间搭建,车间内仪器设备、工作人员、联合收获机以及

检测现场之间协同调整,对模型之间的空间位置干涉、工作人员操作效率、仪器设备功能效率等车间生产元素的空间布局 and 检测工艺规划进行评价和优化,通过数字化仿真平台实现车间布局设计和工艺规划效率的提升。

2.2 系统仿真分析

生产检测效率、仪器利用效率、人员工作强度是评价联合收获机整机制造品质终检系统的 3 项重要指标。通过 Visual Components 数字化设计平台的仿真功能,对设计的 2 种工艺布局形式进行分析和评价,将为终检系统的开发提供依据。系统仿真及评估方法如图 4 所示。

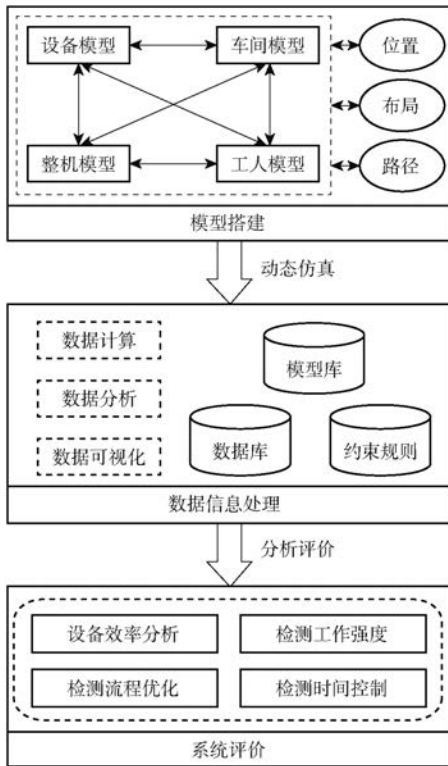


图 4 系统仿真与分析评价框图

Fig. 4 System simulation and analysis evaluation diagram

2.2.1 多工位流水线式检测系统仿真

多工位流水线式检测系统由多个工位组成,且每个工位的检测时间不同,为了提高检测效率和设备利用率,需要考虑到每个工位的检测节拍,并确定多工位流水线式检测系统的整体检测流程。为区分检测系统的不同工位布局方案,用 A 代表转向轮定位检测工位、B 代表制动及液压性能检测工位、C 代表灯光噪声及排放检测工位、D 代表电气性能检测工位,通过系统仿真,检测过程耗时分别为 140、205、196、129 s。通过对 4 个检测工位的多种布局方式进行逐个仿真,发现各种布局形式均能够顺利完成检测任务且无阻塞现象,对具有代表性的 4 种布局方式进行比较,并进行 1 h 系统动态仿真,仿真结

果如表 3 所示。

表 3 多工位流水线式检测系统布局对比

Tab. 3 Layout comparison of multi-station pipelined inspection system

检测工位 布局方式	单台检测耗时/s	完成检测数量/ (台·h ⁻¹)
A-B-C-D	681	13
B-A-D-C	603	14
B-A-C-D	580	14
B-C-A-D	607	13

由表 3 可知,布局方式 B-A-C-D 的单台检测耗时最短,且单位时间内完成检测任务最多,所以多工位流水线式检测系统按照“制动及液压性能检测工位—转向轮定位检测工位—灯光噪声及排放检测工位—电气性能检测工位”的顺序进行检测线布局。在该布局方式下进行的系统仿真过程中,以第 1 台联合收获机驶入制动及液压性能检测工位作为起始点,580 s 时第 1 台联合收获机驶出电气性能检测工位,1 h 内共有 16 台联合收获机驶入检测系统,其中 14 台完成全部检测任务,仿真情况如图 5 所示。

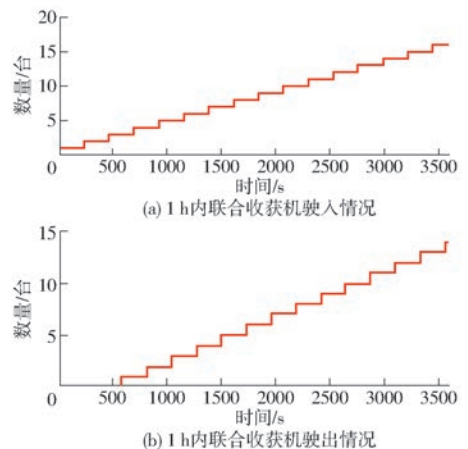


图 5 流水线式检测过程仿真结果

Fig. 5 Test process simulation results of multi-station pipelined inspection system

以检测系统中设备使用效率及自动化程度较高的灯光检测仪为分析对象,当灯光检测仪的感光探头发生位移即判断其进入工作状态。在 1 h 的终检系统仿真过程中,灯光检测仪的工作时间为 1 173 s,使用效率为 32.6%,工作情况如图 6 所示。

在劳动强度方面,利用虚拟机器人对终检系统工作人员工作步数、心率和工作效率进行仿真分析,其结果为检测工位的工作内容安排、人员数量投入、劳动效果评价等提供依据。多工位流水线式检测系统在布局方式 B-A-C-D 下进行仿真,工作人员平均工作步数 2 131 步、最高心率 110 次/min、工作

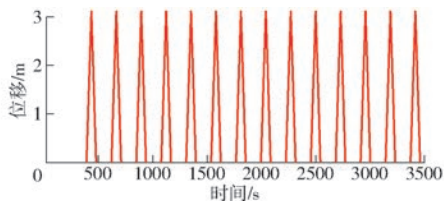


图6 1 h内灯光检测仪工作情况(流水线式)

Fig.6 Working condition of light detector in 1 h (multi-station pipelined inspection system)

效率为8.4%。

2.2.2 多功能单元线式检测系统仿真

多功能单元线式检测系统将多个检测项目集成于单个检测系统中,检测人员的数量成为影响检测系统运行成本和检测效率的重要因素。为了验证人员配置的最优方案,分别为终检系统操作配置2、3、4名检测人员并进行仿真分析,仿真结果如表4所示。

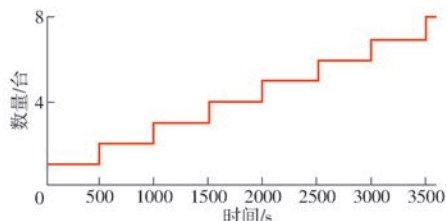
表4 不同人员数量配置条件下工作强度情况

Tab.4 Workers' work intensity comparison under different configurations

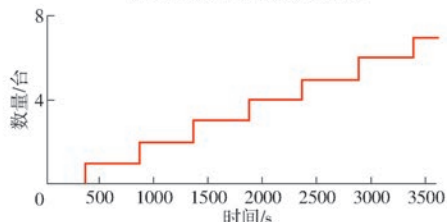
人数/人	平均工作步数/步	工作效率/%	1 h完成检测数量/台
2	2 263	8.9	6
3	1 344	6.5	7
4	1 003	4.8	7

由表4可知,为系统配置2名检测人员时,人员平均工作效率最高,但每小时完成检测任务数量较少(6台),系统整体工作效率较低;当为系统配置4名检测人员时,每小时可以完成较多的检测任务(7台),但由于人员数量较多,导致每名工人工作效率较低,存在劳动力过剩现象,人员投入成本高;当配置3名检测人员时,通过平均工作步数、工作效率和每小时完成检测数量3项指标对比分析,均能达到较好的区间范围。因此,多功能单元线式检测系统将设计在3名检测人员的条件下进行仿真,对系统的检测效率、仪器设备使用效率和工作强度进行分析。

为得到多功能单元线式检测系统的检测效率,同样以每小时完成检测台数和单台检测时间作为评价标准,以第1台联合收获机驶入工位作为开始,驶出工位作为完成检测任务的标志。经过1 h的系统仿真,分析计算后得到单台联合收获机完成检测任务共耗时503 s,1 h内共有8台联合收获机驶入检测工位,其中7台完成全部检测任务驶离检测工位,如图7所示。所以,采用多功能单元线式检测方案,并配置3名检测人员进行整机制造品质检测时,每小时可以完成7台产品检测的工作任务。



(a) 1 h内联合收获机驶入情况



(b) 1 h内联合收获机驶出情况

图7 单元线式检测过程仿真结果

Fig.7 Test process simulation results of multi-functional cell-line inspection system

同样以灯光检测仪作为仪器设备使用效率的分析对象,感光探头发生位移即判断其进入工作状态。仿真结果表明灯光检测仪在1 h内的工作时间为572 s,工作效率为15.9%,工作情况如图8所示。

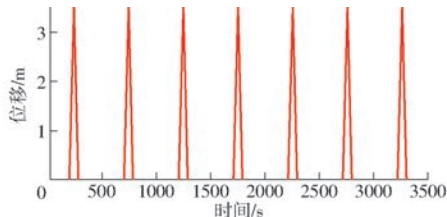


图8 1 h内灯光检测仪使用效率(单元线式)

Fig.8 Use efficiency of light detector in 1 h (multi-functional cell-line inspection system)

为了验证3名检测人员的工作强度,通过虚拟机器人,分别对3名工作人员在单位时间内的工作步数、心率和工作效率进行分析。3名检测人员在检测过程中的工作安排为:1号人员负责转向轮定位检测和灯光噪声及排放检测;2号人员负责制动及液压检测和电气系统检测;3号人员负责协助1号人员进行仪器设备安装及现场指导和系统操作。经过1 h系统仿真,3名检测人员的工作步数、最高心率和工作效率如表5所示。

表5 多功能单元线式检测系统工人工作情况

Tab.5 Workers' working condition of multi-functional cell-line inspection system

检测人员编号	步数/步	最高心率/(次·min ⁻¹)	工作效率/%
1	1 652	110	8.0
2	2 093	110	7.2
3	286	109	4.2

2.3 仿真结果分析

多工位流水线式检测系统和多功能单元线式检

测系统的仿真结果对比见表 6。

表 6 2 种检测方案仿真结果对比

Tab. 6 Simulation results comparison of two inspection systems

检测方案	单台检测耗时/s	单位时间完成数量/台	仪器设备使用效率/%	工人平均步数/步	最高心率/次·min ⁻¹	平均工作效率/%
多工位式	580	14	32.6	2 131	110	8.4
多功能式	503	7	15.9	1 344	110	6.5

在系统整体检测效率方面:多功能单元线式检测系统的单台检测耗时明显比多工位流水线式检测系统要短,主要是由于多工位流水线式检测系统中,被测联合收获机需要在不同检测工位完成相应的检测项目,机器在工位转移过程中耗费较多时间,增加了整机的检测时间;但多工位流水线式检测系统中多个工位可以实现同时作业,检测效率较高,即使单台收割机检测耗时较长,每小时仍可以完成较多的检测任务。

在仪器设备的使用效率方面:多工位流水线式检测系统的仪器设备使用效率要明显高于多功能单元线式检测系统,由于多工位流水线式检测系统在工作过程中可以多工位、多项目同时进行检测生产,大大降低了仪器设备的闲置时间,整体使用效率较高,但同时仪器设备的工作负荷也随之增加。

在检测人员投入和工作效率方面:多工位流水线式检测系统需要投入较多检测人员,生产成本投入较高;从工作人员平均步数、最高心率等工作强度指标进行对比分析,2 种检测系统方案没有明显差异,但多工位流水线式检测系统每个工位的人员工作效率较高。

通过以上分析表明,2 种检测系统布局方案各有自身的特点和适用场景,但均能够满足大中型联合收获机生产企业整机下线终检生产实际需要。多工位流水线式检测系统需要较大的空间进行场地建设,投入成本高,适用于大批量产品检测需要;多功能单元线式检测系统占地面积小,系统柔性较高,且建设投入成本低,更适用于生产批量较少、定制化程度较高的大型智能化联合收获机整机产品。

3 电气性能检测系统设计与验证

对联合收获机整机制造品质终检系统布局方案和检测工艺流程仿真结果表明,各项检测任务均能够按照相关标准和实际生产需求完成,为了更好地验证多功能单元线式检测系统的可行性,开发基于虚拟仪器平台的电气性能参数检测系统,并进行实

验验证。

3.1 软硬件设计

3.1.1 硬件设计

联合收获机的电气系统主要包括灯光、仪表、启动电路、蓄电池等模块,其制造品质是影响整机产品作业可靠性和安全性的重要因素。联合收获机的电气检测系统主要包括启动性能、用电器质量、总线故障诊断等方面的检测和诊断功能,具体检测原理是在不破坏原有线路的基础上,通过电流传感器、电阻仪、CAN 总线分析仪等传感模块和仪表,对被测产品电气参数和性能进行快速综合的分析和评价。联合收获机整机电气性能检测系统方案如图 9 所示。

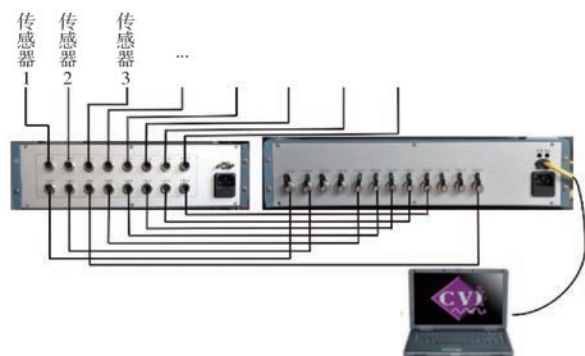


图 9 联合收获机整机电气性能检测系统硬件方案图

Fig. 9 Electrical testing system hardware scheme

3.1.2 软件开发

虚拟仪器的灵活性使上位机软件可以代替传统硬件设备的诸多功能,很多传统的仪器设备需要计算机的搭配使用,虚拟仪器可以通过计算机的某些功能和兼容性代替传统硬件,上位机测控软件是虚拟仪器技术的核心,实现友好的人机交互、仪器设备测试功能以及实现与硬件设备之间的数据互通^[26-27]。本文选用 LabWindows/CVI 为软件平台进行电气性能检测系统软件的开发。

检测软件的架构设计(图 10)基于模块化分区理念,将相同类型的功能整合在 1 个模块分区中,软件运行时根据需要调用分区,使用者在使用时操作更便捷,更加清晰明了地获得需要的数据,同时也有利于软件管理,提高软件运行稳定性^[28]。

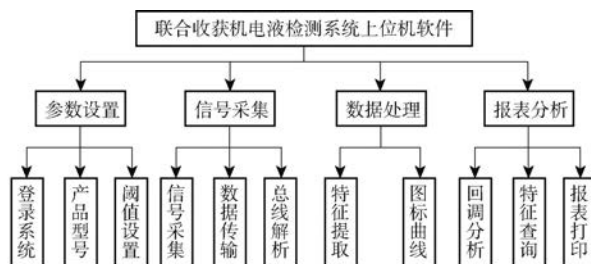


图 10 软件架构

Fig. 10 Software architecture

电气检测系统软件主要包括4部分:参数设置、信号采集、数据处理、报表分析。参数设置包括性能评价阈值区间的设置、产品型号、操作人员等信息的录入等;信号采集主要是将传感模块和总线分析仪采集到的原始信号,通过数据协议进行传输;数据处理主要是提取原始数据中的特征信息,并通过波形图标等形式进行实时显示;报表分析主要实现历史数据的回调分析、特征查询、报表打印等功能。

3.2 实验验证与结果分析

联合收获机电气性能检测分为静态性能参数检测和动态性能参数检测。静态性能检测主要包括用电器工作电流和整机总线参数2部分;动态性能检测主要对整机启动性能进行分析和评价。

静态性能检测主要采用以下方式进行验证:随机抽取1台联合收获机,由检测人员安装电流传感模块(图11),通过总线接口将总线分析仪接入联合收获机电气系统。检测前,根据待测机型修改并确认各用电器额定工作电流的合格区间,检测过程中驾驶员根据指示,依次开启用电器,软件系统自动获取传感器数据,与设置的合格区间进行比对后,生成检测结果并自动保存,静态性能参数检测交互界面如图12所示。



图11 电流传感器安装

Fig.11 Current sensor installation



图12 静态参数检测界面

Fig.12 Static parameter inspection

动态性能参数检测(图13)主要对联合收获机启动过程中启动回路和发动机的工况参数进行分析和评价。为了验证系统工作的准确性和可靠性,通过实验对10台联合收获机进行动态性能测试,包括启动电流、启动时间、油耗、发动机转速等数据和结果的分析,测试结果如表7所示。



图13 动态参数检测界面

Fig.13 Dynamic parameter inspection

通过数据分析可以发现,被测联合收获机的启动电流、启动压降、充电电压、发动机转速的变化情况基本一致,检测数据均在合格区间内;但由于联合收获机完成装配后还未进行道路测试和整机工况磨合,发动机和主要工作部件还未达到最佳工作状态,存在启动运行不稳、整机运转不畅等问题,造成启动电流、发动机瞬时油耗等参数一致性较差。

表7 电气性能动态参数检测结果

Tab.7 Dynamic parameters test results of inspected combine harvesters

收获机编号	启动电流/ A	启动时间/ ms	启动压降/ V	充电电压/ V	瞬时油耗/ (L·h ⁻¹)	怠速转速/ (r·min ⁻¹)	额定转速/ (r·min ⁻¹)
01	353.2	790	0.4	27.5	10.3	725	2 206
02	322.0	1 090	0.4	27.6	16.9	723	2 218
03	358.8	850	0.4	27.8	13.8	726	2 217
04	361.8	910	0.4	27.6	14.1	727	2 205
05	314.4	910	0.4	27.8	10.7	725	2 213
06	328.0	790	0.4	27.5	11.5	722	2 210
07	307.8	1 030	0.4	27.8	11.7	725	2 209
08	353.2	970	0.4	27.9	16.7	724	2 214
09	324.9	910	0.4	27.6	11.7	722	2 208
10	322.7	730	0.4	27.4	12.5	727	2 213

通过静态性能参数和动态性能参数生产检测实验,结果表明整机电气检测系统的功能运行稳定,信号采集正常,能够在不破坏原有线路的条件下完成联合收获机整机电气系统性能参数的快速检测,符合联合收获机整机制造品质检测生产的实际需求。

4 结论

(1) 针对联合收获机制造品质检测过程中存在的问题,在整合国家相关标准及企业生产实际的基础上,提出了联合收获机整机制造品质终检方案及相应的检测方法。根据生产需求设计了多工位流水线式和多功能单元线式 2 种终检系统工艺方案。

(2) 建立了 2 种终检系统的数字车间模型,并

在 Visual Components 数字工厂建模软件平台上进行了动态仿真。通过对比 2 种方案的生产检测效率、仪器设备使用效率和人员工作强度,综合分析了 2 种方案的优缺点,最终确定多功能单元线式检测方案更适用于大型联合收获机制造过程质量的检测。

(3) 为了验证多功能单元线式检测系统在生产实际中的可行性,开发了联合收获机电气性能检测系统。通过静态参数和动态参数的生产检测,验证了电气检测系统的适用性和可靠性,实验结果表明,基于虚拟仪器技术开发的整机电气性能检测系统能够满足实际生产检测需求,基于检测数据的评价分析能够为企业评估联合收获机整机电气系统制造品质的一致性和可靠性提供依据。

参 考 文 献

- [1] 陶飞, 张萌, 程江峰, 等. 数字孪生车间——一种未来车间运行新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(1): 1-9. TAO Fei, ZHANG Meng, CHENG Jiangfeng, et al. Digital twin workshop: a new paradigm for future workshop[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(1): 1-9. (in Chinese)
- [2] 陶飞, 程颖, 程江峰, 等. 数字孪生车间信息物理融合理论与技术[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(8): 1603-1611. TAO Fei, CHENG Ying, CHENG Jiangfeng, et al. Theories and technologies for cyber-physical fusion in digital twin shop-floor[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(8): 1603-1611. (in Chinese)
- [3] VIRGILIO Q, LOUIS R, ROBERT P, et al. Will model-based definition replace engineering drawings throughout the product lifecycle? A global perspective from aerospace industry[J]. Computers in Industry, 2010, 61(5): 497-508.
- [4] 王建军, 向永清, 何正文. 基于数字孪生的航天器系统工程模型与实现[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(6): 1348-1360. WANG Jianjun, XIANG Yongqing, HE Zhengwen. Models and implementation of digital twin based spacecraft system engineering[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(6): 1348-1360. (in Chinese)
- [5] 郭具涛, 洪海波, 钟珂珂, 等. 基于数字孪生的航天制造车间生产管控方法[J]. 中国机械工程, 2020, 31(7): 808-814. GUO Jutao, HONG Haibo, ZHONG Keke, et al. Production management and control method of aerospace manufacturing workshops based on digital twin[J]. China Mechanical Engineering, 2020, 31(7): 808-814. (in Chinese)
- [6] 王仲奇, 杨元. 飞机装配的数字化与智能化[J]. 航空制造技术, 2016, 59(5): 36-41. WANG Zhongqi, YANG Yuan. Digitization and intelligentization of aircraft assembly[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016, 59(5): 36-41. (in Chinese)
- [7] 梅中义, 黄超, 范玉青. 飞机数字化装配技术发展展望[J]. 航空制造技术, 2015, 58(18): 32-37. MEI Zhongyi, HUANG Chao, FAN Yuqing. Development and prospect of aircraft digital assembly technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(18): 32-37. (in Chinese)
- [8] RAJESH P K, MANIKANDAN N, RAMSHANKAR C S, et al. Digital twin of an automotive brake pad for predictive maintenance[J]. Procedia Computer Science, 2019, 165: 18-24.
- [9] 徐小强, 叶文博, 徐彬. 基于数字工厂的汽车配件压铸信息化研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2018, 40(5): 531-536. XU Xiaoliang, YE Wenbo, XU Bin. Research on information process of die casting for automobile parts based on digital factory[J]. Journal of Wuhan University of Technology(Information & Management Engineering), 2018, 40(5): 531-536. (in Chinese)
- [10] 吴峰, 杨志鹏, 王良熙, 等. 基于数字样机的汽车转向横拉杆优化设计[J]. 制造业自动化, 2019, 41(6): 43-46, 91. WU Feng, YANG Zhipeng, WANG Liangxi, et al. Optimization design of vehicle steering tie bar based on digital mock up[J]. Manufacturing Automation, 2019, 41(6): 43-46, 91. (in Chinese)
- [11] MARA T, GIULIO P, SERGIO M S, et al. Transmission control for power-shift agricultural tractors: design and end-of-line automatic tuning[J]. Mechatronics, 2010, 21(1): 285-297.
- [12] MICHELE M, GIOVANNI M, ANDREA V. New methodology for accelerating the four-post testing of tractors using wheel hub displacements[J]. Biosystems Engineering, 2015, 129: 307-314.
- [13] DIMITRIS S P, HANS W G, STAVROS G V. Methodology for designing accelerated structural durability tests on agricultural machinery[J]. Biosystems Engineering, 2016, 149: 24-37.
- [14] OLESYA G, GEORGIY S, VIKTOR M, et al. Innovative statistical information system for tracking the quality of agricultural machinery production[C]//13th International Scientific and Practical Conference on State and Prospects for the Development of Agribusiness, INTERAGROMASH 2020.
- [15] 苑严伟, 方宪法, 荣耀, 等. 联合收割机脱粒滚筒焊接质量在线检测系统[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 11-16.

- YUAN Yanwei, FANG Xianfa, RONG Yao, et al. Online diagnosis system of threshing cylinder welding quality of combine harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(4): 11-16. (in Chinese)
- [16] 张亚伟, 王冬, 陈度, 等. 大型收获机械发动机孔组位置度误差在线检测方法[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(增刊): 71-78.
ZHANG Yawei, WANG Dong, CHEN Du, et al. Online method for large-scale harvester engine punch combination position accuracy measurement[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(Supp.): 71-78. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2017s012&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.S0.012. (in Chinese)
- [17] 全国农业机械标准化技术委员会. GB 16151.12—2008 农业机械运行安全技术条件[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [18] 全国农业机械标准化技术委员会. GB/T 14248—2008 收获机械制动性能测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [19] 全国拖拉机标准化技术委员会. GB/T 20949—2007 农林轮式拖拉机照明和灯光信号装置的安装规定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [20] 生态环境部. GB 36886—2018 非道路移动柴油机械排气烟度限值及测量方法[S]. 北京: 环境科学出版社, 2018.
- [21] 全国农业机械标准化技术委员会. JB/T 6268—2015 自走式收获机械噪声测定方法[S]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [22] 全国农业机械标准化技术委员会. JB/T 7316—2015 谷物联合收割机液压系统试验方法[S]. 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [23] QUARTERMAN L. How to balance a manufacturing work cell[C]//Institute of Industrial Engineers-IE Solutions Conference. Cleveland Ohio, 2000.
- [24] 张泽群, 唐敦兵, 金永乔, 等. 信息物联驱动下的离散车间自组织生产调度技术[J]. 机械工程学报, 2018, 54(16): 34-44.
ZHANG Zequn, TANG Dunbing, JIN Yongqiao, et al. Self-organizing production technology for discrete workshop scheduling driven by internet of things[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2018, 54(16): 34-44. (in Chinese)
- [25] 赵浩然, 刘检华, 熊辉, 等. 面向数字孪生车间的三维可视化实时监控方法[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(6): 1432-1443.
ZHAO Haoran, LIU Jianhua, XIONG Hui, et al. 3D visualization real-time monitoring method for digital twin workshop[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2019, 25(6): 1432-1443. (in Chinese)
- [26] 路亚峰, 陈义军, 温新歧, 等. 虚拟仪器技术研究现状与展望[J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(11): 35-37.
LU Yafeng, CHEN Yijun, WEN Xinqi, et al. Research status and prospect of virtual instrumental technology[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2010, 29(11): 35-37. (in Chinese)
- [27] 祝青园, 王书茂, 康峰, 等. 虚拟仪器技术在农业装备测控中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(6): 1333-1338.
ZHU Qingyuan, WANG Shumao, KANG Feng, et al. Application of virtual instrument technology in agricultural equipment measurement and control system[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2008, 29(6): 1333-1338. (in Chinese)
- [28] 夏明忠, 夏以轩, 李兵元. 软件模块化设计和模块化设计[J]. 中国信息界, 2012(11): 56-59.
XIA Mingzhong, XIA Yixuan, LI Bingyuan. Software modular design and modular management[J]. China Information Times, 2012(11): 56-59. (in Chinese)

(上接第 149 页)

- [21] 王景旭, 祁力钧, 夏前锦. 靶标周围流场对风送喷雾雾滴沉积影响的 CFD 模拟及验证[J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 46-53.
WANG Jingxu, QI Lijun, XIA Qianjin. CFD simulation and validation of trajectory and deposition behavior of droplets around target affected by air flow field in greenhouse[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(11): 46-53. (in Chinese)
- [22] 周良富, 张玲, 丁为民, 等. 风送静电喷雾覆盖率响应面模型与影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(增刊 2): 52-59.
ZHOU Liangfu, ZHANG Ling, DING Weimin, et al. Droplet coverage response surface models and influencing factors of air-assisted electrostatic spray[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(Supp. 2): 52-59. (in Chinese)
- [23] 贾卫东, 胡化超, 陈龙, 等. 风幕式静电喷杆喷雾喷头雾化与雾滴沉积性能试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 53-59.
JIA Weidong, HU Huachao, CHEN Long, et al. Performance experiment on spray atomization and droplets deposition of wind-curtain electrostatic boom spray[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(7): 53-59. (in Chinese)
- [24] 周良富, 张玲, 薛新宇, 等. 双气流道辅助静电喷头设计与试验[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(24): 192-196.
ZHOU Liangfu, ZHANG Ling, XUE Xinyu, et al. Design and test of auxiliary electrostatic nozzle with dual air flow channels[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(24): 192-196. (in Chinese)
- [25] 宋坚利, 刘亚佳, 张京, 等. 扇形雾喷头雾滴飘失机理[J]. 农业机械学报, 2011, 42(6): 63-69.
SONG Jianli, LIU Yajia, ZHANG Jing, et al. Drift mechanism of flat fan nozzle[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(6): 63-69. (in Chinese)