

团 体 标 准

T/CAAMM xxxx—20xx

智能农机装备数字孪生系统

第 4 部分：应用指南

Digital Twin System of Intelligent Agricultural Machinery

Part 4: Application Guidelines

(征求意见稿)

202x-xx-xx 发布

202x-xx-xx 实施

中国农业机械工业协会 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 智能农机装备数字孪生应用场景	2

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国农业机械工业协会提出。

本文件由中国农业机械工业协会归口。

本文件起草单位：中国农业大学、洛阳智能农业装备研究院有限公司、北京市农林科学院智能装备技术研究中心、中国农业机械化科学研究院集团有限公司、洛阳拖拉机研究所有限公司、博创联动科技股份有限公司、北京启维数字科技有限公司。

本文件主要起草人：杜岳峰、郭大方、宋正河、陈度、郭志强、黄胜操、尹彦鑫、周立明、陈凯康、王东青、高辽远、陶伟、吴传鑫、栗晓宇、武秀恒、乔智、王林泽、吴志康、马若飞。

本文件为首次发布。

智能农机装备数字孪生系统 第 4 部分:应用指南

1 范围

本文件提供了智能农机装备数字孪生系统应用方向，列举了智能农机装备数字孪生系统在设计制造和运维管控中的应用场景。

本文件适用于智能农机装备设计制造和运维管控等应用领域，以及政策监管、行业协会、认证机构，其他单位可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期的对应版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 43441.1-2023 信息技术 数字孪生 第 1 部分：通用要求

GB/T 41723-2022 自动化系统与集成 复杂产品数字孪生体系架构

3 术语和定义

GB/T 43441.1-2023 和 GB/T 41723-2022 界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

虚拟调试 Virtual Debugging

在实际物理设备投入使用之前，使用虚拟模型和仿真技术对设备进行功能测试、性能调试和故障排查。

3.2

寿命预测 Life Prediction

通过对设备运行数据、使用条件及历史记录的分析，预测设备或关键部件的剩余使用寿命，并指导维护决策，减少设备故障和停机时间。

3.3

故障诊断 Fault Diagnosis

识别设备可能存在的故障或异常状况，定位故障原因，制定修复方案，减少维修成本和停机时间。

3.4

智能制造 Intelligent Manufacturing

以信息化、自动化和智能化为基础，通过数字孪生、物联网、大数据等技术进行装备设计、制造过程优化、质量管理等全链条的智能化升级。

3.5

运维管控 Operation and Maintenance Management

通过实时数据采集、虚拟模型构建与分析、预测性维护等手段，提升农机装备的可靠性、生产效率和安全性。

4 智能农机装备数字孪生系统应用场景

4.1 概述

智能农机装备数字孪生系统通过建立虚拟模型，实现物理实体和虚拟模型的同步演化与交互融合，全面描述农机装备及其作业过程，并通过感知、预测、优化、决策、控制等功能，提升农机装备全生命周期管理水平。设计制造和运维管控是智能农机装备数字孪生系统的两个主要应用场景。智能农机装备数字孪生系统能够建立农机装备与智慧农业之间的纽带和桥梁，既能使农业生产的运维管控更加贴合实际，又够使农机装备的设计制造回归农业生产现实背景，有助于更加清晰地认识农业生产过程、农机装备运行过程及二者耦合作用，既能促进智慧农业落地实用，又能支撑农机装备先进制造能力提升。智能农机装备数字孪生系统在设计制造方向的应用场景包括但不限于：基于数字孪生的产品创新、基于数字孪生的制造过程管理、基于数字孪生的虚拟调试。智能农机装备数字孪生系统在运维管控方向的应用场景包括但不限于：基于数字孪生的可视化监控、基于数字孪生的智能决策与控制、基于数字孪生的故障诊断与寿命预测、基于数字孪生的危险工况预警、基于数字孪生的安全操作培训。

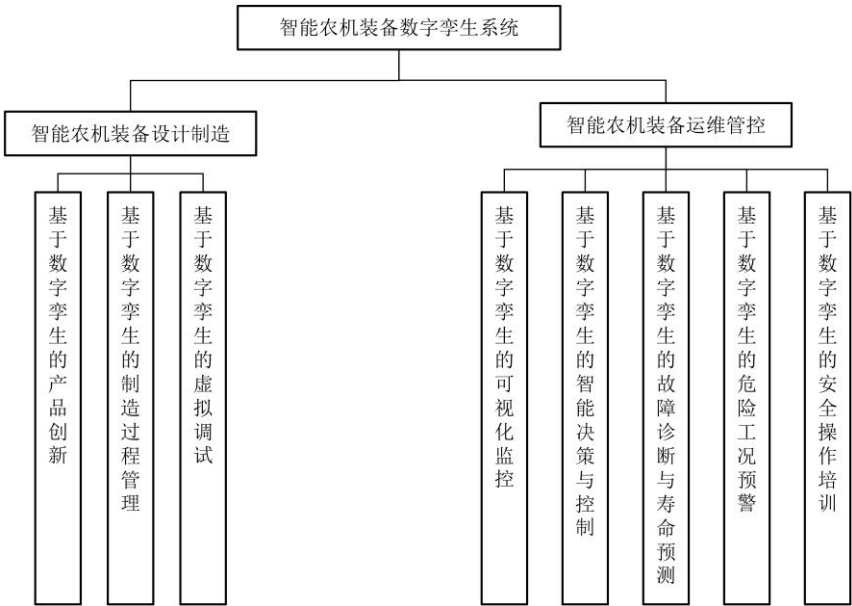


图1 智能农机装备数字孪生系统应用场景

4.2 设计制造方向

4.2.1 概述

智能农机装备数字孪生系统可用于改善装备设计研发和实际运用之间的信息壁垒和数据孤岛问题，有助于减少产品定义、设计目标不准确，设计与个性化应用脱节等现象，实现对农机装备设计的指导，促进智能农机装备的设计在功能、性能、经济性上更符合应用场景的需求，提高研发设计的一次成功率。推荐的应用场景包括但不限于：

- a) 数字孪生系统积累的真实农机装备运行数据和模型可被用于孵化创新设计，提高产品改进型的功能易用性和运行可靠性，提升设计科学性和一次成功率；
- b) 数字孪生系统通过模拟装备制造过程、追溯制造工艺和零部件等方式辅助制造过程管理；
- c) 数字孪生系统可以支撑装备虚拟验证和调试，满足静态参数、动态参数的调试需求。

4.2.2 基于数字孪生的产品创新设计

基于数字孪生的智能农机装备产品创新的推荐途径包括但不限于：

- a) 通过数字孪生系统映射或模拟智能农机装备作业过程，针对具体用户需求和典型场景进行仿真，辅助产品定义，解决用户需求和作业场景描述不准确、不完善的问题；
- b) 通过收集和分析数字孪生系统中蕴含的智能农机装备全生命周期数据和模型，利用这些资料反向指导设计改进，如针对特定的作业环境或应用需求调整设计参数，提高产品的功能性、可用性和可靠性；
- c) 通过人工智能技术挖掘数字孪生系统中积累的大量历史设计数据和使用经验，能够从中提取有价值的设计模式和知识，辅助生成新的设计方案。这种基于知识的设计可以大幅度提升设计的智能化水平；
- d) 数字孪生系统中多物理场、多学科耦合的虚拟模型能够支撑复杂系统级仿真，辅助装备设计、功能配置和设计评估，在不断的模拟迭代过程中设计更加高质量的新型产品，确保装备设计的科学性和可靠性。

4.2.3 基于数字孪生的制造过程管理

数字孪生系统有利于促进农机装备制造过程中的工艺设计、生产管理、质量控制等环节的改善，推荐的途径包括但不限于：

- a) 在实际制造之前，通过数字孪生系统创建虚拟的制造过程模型，模拟加工步骤、装配流程、资源配置和物流系统。这有助于提前发现潜在问题，优化制造工艺，减少物理试验的次数；
- b) 在制造过程中，通过传感器和物联网技术，实时采集制造设备的运行数据。通过对比实际数据与虚拟模型的差异，进行过程优化，确保制造过程的稳定性和产品的一致性；
- c) 通过数字孪生模型，对制造过程中使用的资源（如人力、设备、材料）进行虚拟配置和仿真，优化资源的利用率和配置策略，从而提高生产效率和资源利用率；
- d) 数字孪生系统实现对制造过程的全程追踪和质量控制。通过将每一生产步骤的数据与数字孪生模型相对应，形成全生命周期的质量追溯体系，确保生产过程中各个环节的质量符合要求；
- e) 通过长期积累制造过程中的数据和仿真结果，形成制造知识库。利用这些知识库，可以指导未来的制造过程，提供优化建议，并支持新产品开发和制造工艺改进；
- f) 通过数字孪生系统，将制造过程中积累的经验和知识共享给其他团队或部门，促进制造经验的传承和新知识的创造。

4.2.4 基于数字孪生的虚拟调试

基于数字孪生的虚拟调试有助于在实际生产前完成装备的虚拟化验证，推荐的途径包括但不限于：

- a) 数字孪生系统整合机械、电子、液压、控制等多个学科的高保真虚拟模型，通过多学科协同仿真尽可能精确地反映实际设备的物理特性和运行逻辑，包括几何模型、动力学特性、控制算法等。在虚拟调试阶段，可以利用这些仿真模型对设备的各个功能进行模拟和优化，从而发现潜在的问题并提前解决；
- b) 虚拟现实和增强现实技术可以用于数字孪生系统的虚拟调试。通过这些技术，可以沉浸式地观察和操作虚拟农机设备，进行调试和优化。例如，通过 AR 眼镜，可以在现实世界中叠加虚拟的设备运行状态，实时进行调试和分析；
- c) 虚拟调试不仅可以在完全虚拟的环境中进行，还可以与实际设备联调。通过将数字孪生系统与实际设备的数据接口连接，虚拟调试的结果可以直接应用于设备的实际操作，或者从实际设备的反馈中进一步优化虚拟调试模型；
- d) 在虚拟调试过程中，数字孪生系统可以模拟设备可能遇到的故障，并通过故障树分析等方法进行诊断。此外，还可以通过仿真设备的全生命周期，预测设备的寿命和维护需求，从而提前制定维护计划，减少设备故障率。

4.3 运维管控方向

4.3.1 概述

智能农机装备数字孪生系统可实现对农机装备的智能维护，能够提升农机装备的可靠性和生产效率，还可以大大降低维护成本和停机风险，为农业生产提供了更为稳定和高效的技术保障，推荐的应用场景包括但不限于：

- a) 通过数据采集或添加传感器全方位获取设备数据，并将各个位置数据与虚拟模型一一映射，更加直观的监控农机装备实时状态；
- b) 利用数字孪生对生产环境、生产任务和设备状态的动态映射更新能力，可以制定科学精准的运行优化策略，实现智能决策与控制，解决农机装备对复杂多变的生产条件动态适应能力不足的问题；
- c) 通过数字孪生系统的历史数据和模型，可复现故障场景，迅速判别和定位故障原因，利用数字孪生仿真评估可以快速形成最优的故障排除方案。通过数字孪生可建立农机装备关键零部件寿命衰减模型，结合使用过程记录，实现剩余寿命估计和预测性维护；
- d) 通过对设备运行数据的实时监测与分析，数字孪生系统可以识别出可能导致危险的工况，并及时发出预警；
- e) 数字孪生系统可以用于操作人员的培训，通过虚拟环境模拟真实的操作场景，让操作人员在虚拟环境中学习设备的操作流程和应对紧急情况的处理方式。

4.3.2 基于数字孪生的可视化监控

数字孪生系统通过提供对智能农机装备的实时状态监控功能，能够提高设备的整体管理效率，提升农业生产的智能化水平，推荐的应用场景包括但不限于：

- a) 数字孪生系统可以将智能农机装备上的传感器数据实时采集，并通过高精度的虚拟模型进行可视化展示。通过实时数据流与虚拟模型的结合，用户可以直观地了解设备当前的运行情况和周围环境的变化；
- b) 借助增强现实（AR）或虚拟现实（VR）技术，数字孪生系统可以提供沉浸式的可视化监控

体验。操作人员可以通过佩戴 AR/VR 设备，查看农机的虚拟模型，并与实际环境进行叠加，获得更加直观的设备状态感知。

4.3.3 基于数字孪生的智能决策与控制

数字孪生可利用对生产环境、生产任务和设备状态的动态映射更新能力，制定科学精准的运行优化策略，指导控制系统的智能运行决策解决动态适应能力不足的问题，推荐的应用场景包括但不限于：

- a) 数字孪生系统实时采集智能农机的各类操作数据，并结合历史数据进行处理与分析。基于对这些数据的理解，系统能够识别当前作业环境和农机状态，伺机进行干预；
- b) 数字孪生系统通过虚拟模型对智能农机在不同作业条件下的行为进行模拟，从而识别出最优的操作参数组合；
- c) 数字孪生系统实时监控实际操作结果，并与仿真预测进行对比。通过这种闭环反馈机制，系统可以调整和优化控制策略，确保农机在不断变化的作业环境中保持最佳状态。

4.3.4 基于数字孪生的故障诊断与寿命预测

基于数字孪生的智能仿真诊断分析，将传统仿真技术与人工智能技术结合，将极大提升故障诊断与寿命预测准确性，推荐的应用场景包括但不限于：

- a) 基于数字孪生模型的仿真技术，可以模拟农机在不同工况下的运行情况。通过仿真与实际状态的对比，监控系统可以提前预警潜在的故障或异常情况，并为操作人员提供决策支持；
- b) 通过数字孪生系统的历史运行记录，复现故障场景，并借助智能算法，提取故障特征，迅速判别并定位故障；
- c) 通过数字孪生系统，建立装备关键零部件寿命衰减模型，结合使用过程记录，智能分析剩余寿命，实现对智能农机装备的预测性维护。

4.3.5 基于数字孪生的危险工况预警

基于数字孪生的危险工况预警是智能农机装备数字孪生系统的重要应用场景之一，能够帮助提高设备的安全性和可靠性，推荐的应用场景包括但不限于：

- a) 通过数字孪生系统的虚拟模型，进行多物理场仿真，模拟设备在不同工况下的响应。通过仿真结果，预测即将出现的危险工况，提前发出预警；
- b) 利用机器学习和数据挖掘技术，基于历史数据和实时监测数据，构建设备故障预测模型，提前识别可能的故障趋势；
- c) 通过虚拟现实技术，将数字孪生系统中的工况仿真结果以可视化形式展现，操作人员可以通过直观的方式了解设备的当前状态和潜在风险；
- d) 根据预警信息，数字孪生系统可以与农机的控制系统联动，自动生成应急响应预案，自动调节设备运行参数，以避免危险工况的发生，确保设备安全运行；
- e) 通过数字孪生系统积累的危险工况数据和应对措施，建立案例库，为未来类似情况提供参考，优化预警系统的性能。

4.3.6 基于数字孪生的安全操作培训

基于数字孪生的仿真培训能够为智能农机使用人员、维保人员等提供模拟操作环境，能够快速帮助提升技术技能，为其真正开展实际工作提供基础训练，推荐的应用场景包括但不限于：

- a) 通过数字孪生系统，可以模拟从装备启动到具体作业完成的全过程，包括装备的操作步骤、

可能的错误提示以及应对措施，帮助学员在模拟环境中熟悉整个操作流程；

- b) 通过数字孪生系统记录学员的操作数据，如完成任务的效率、准确性、安全性等，并进行量化评估，提供详细的学习报告，让学员了解自己的优缺点，从而有针对性地改进；
 - c) 在数字孪生环境中可以安全地模拟操作错误引发的各种事故，如设备故障、作业失误等，培训学员如何在紧急情况下采取正确的措施，增强学员的应急处理能力；
 - d) 数字孪生系统可以支持多人同时参与的协同操作培训，模拟实际工作中多人协作的场景，帮助学员掌握团队配合的技能；
 - e) 系统可以记录和存储学员在操作培训中的经验和最佳实践，并在未来的培训中加以利用和分享，促进整个团队操作技能的提升。
-