

团 体 标 准

T/CAAMM xxxx—20xx

拖拉机智能控制系统 设计规范

Tractor intelligent control system Design specification

（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 系统架构	2
5 技术要求	3
6 试验方法	7
7 检验规则	10
8 标志、包装、运输及储存	12

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：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次发布。

拖拉机智能控制系统 设计规范

1 范围

本文件规定了拖拉机智能控制系统的设计、开发、测试和应用的技术要求，涵盖系统架构、环境感知、智能决策、人机交互、动力控制及安全保障等方面。

本文件适用于拖拉机智能控制系统的设计、开发和应用，其他农业机械的智能控制系统可参照使用。

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 39267-2020 车载网络通信安全技术要求

ISO 20653 道路车辆 防护等级（IP代码）保护对异物、水和接入电力设备

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能控制系统 Intelligent control system

指通过传感器、控制器和执行机构等组成的系统，能够实现拖拉机的自动化、智能化操作。

3.2

环境感知 Environmental awareness

指系统通过传感器获取外部环境信息的能力，包括障碍物检测、地形识别等。

3.3

智能决策 Intelligent decision

指系统根据环境感知信息，通过算法进行路径规划、速度控制等决策的能力。

3.4

人机交互 Human-computer interaction

指系统与操作人员之间的信息交互，包括显示、语音提示、远程控制等。

3.5

动力控制 Dynamic control

指系统对拖拉机发动机、传动系统等控制，确保拖拉机在不同工况下的动力输出。

3.6

安全保障 Safety guarantee

指系统在异常情况下（如信号丢失、障碍物接近等）能够采取紧急措施，确保设备和人员安全。

3.7

多传感器融合 Multi-sensor fusion

通过激光雷达、摄像头、IMU等数据的融合算法，提升环境感知的精度与可靠性。融合算法需支持卡尔曼滤波或粒子滤波，融合后定位精度标准差 ≤ 1.5 cm。

3.8

冗余设计 Redundant design

关键模块（如制动控制、通信链路）需具备硬件或软件冗余，确保单点故障不影响系统整体功能。

3.9

硬件冗余 Hardware redundancy

关键模块（制动ECU、通信网关）需配置双路独立电源，电源12V/24V±5%。

3.10

软件冗余 Software redundancy

控制算法需实现“投票机制”，三取二逻辑容错。

4 系统架构

拖拉机智能控制系统应包括以下模块：

4.1 传感器模块

用于环境感知，包括GPS/北斗定位、激光雷达、摄像头等。

4.1.1 GPS/北斗定位：定位精度应达到±2厘米（RTK模式下），刷新频率不低于10Hz。

4.1.2 激光雷达：检测距离不小于50米，检测精度为±5厘米，扫描频率不低于10Hz。抗干扰能力：在粉尘浓度 $\geq 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 环境下，检测性能下降 $\leq 15\%$ 。

4.1.3 摄像头：分辨率不低于1080P，帧率不低于30fps。夜视功能要求：照度 $\leq 0.1 \text{ lux}$ 时，有效识别距离 ≥ 8 米，噪点比 $\leq 5\%$ 。动态范围 $\geq 120 \text{ dB}$ ，支持HDR模式。

4.1.4 惯性测量单元（IMU）：用于检测拖拉机的姿态（俯仰、横滚、偏航），精度不低于 $\pm 0.1^\circ$ 。

4.1.5 多传感器融合要求：系统需支持至少两种定位方式，如GPS+视觉SLAM，定位精度提升至 $\pm 1 \text{ cm}$ （RTK模式）。

4.1.6 环境适应性：摄像头需具备IP67防护等级，激光雷达工作温度范围扩展至 $-40^\circ\text{C} \sim 85^\circ\text{C}$ 。

4.2 控制模块

用于数据处理和决策，包括中央处理器、算法模块等。

4.2.1 中央处理器：采用多核处理器，最低算力32位四核CPU，主频 $\geq 1.8 \text{ GHz}$ ，浮点运算能力 $\geq 500 \text{ MFLOPS}$ ；实时操作系统（RTOS）任务切换延迟 $\leq 50 \mu\text{s}$ 。

4.2.2 算法模块：包括路径规划算法（如A*算法、Dijkstra算法）、速度控制算法（如PID控制）、障碍物避让算法（如动态窗口法）。A*算法需支持动态权重调整，地形阻力系数0.1~0.5，重规划周期 $\leq 200 \text{ ms}$ 。

4.3 执行模块

用于控制拖拉机的动力输出、转向、制动等。

4.3.1 动力输出控制：通过CAN总线与发动机ECU通信，实时调整发动机输出功率。

4.3.2 转向控制：采用电液比例阀或电动助力转向系统，转向精度不低于 ± 2.5 厘米。

4.3.3 制动控制：具备紧急制动功能，制动响应时间不超过0.5秒。具备多级制动策略，缓刹阶段：减速度 $\leq 2 \text{ m/s}^2$ ，持续时间0.5~1.5秒；急刹阶段：减速度 $\geq 4 \text{ m/s}^2$ ，最大制动距离 ≤ 3 米，车速10 km/h时。

4.4 人机交互模块

用于与操作人员进行信息交互，包括显示屏、语音提示等。

4.4.1 显示屏：尺寸不小于7英寸，分辨率不低于1280×720，支持触摸操作。

4.4.2 语音提示：支持多语言语音提示，音量可调，语音清晰度不低于90%。

4.4.3 远程控制：支持4G/5G网络远程控制，延迟不超过300ms。

4.5 通信模块

用于系统内部及与外部的数据传输，包括无线通信、CAN总线等。

4.5.1 CAN 总线：用于系统内部通信，传输速率不低于 500kbps；错误帧检测率 $\geq 99.9\%$ ，总线负载率 $\leq 70\%$ 。

4.5.2 无线通信：支持 Wi-Fi、蓝牙、4G/5G，用于与外部设备通信。4G/5G 网络切换信号强度 ≤ -90 dBm 时触发切换，切换延迟 ≤ 150 ms。

4.5.3 网络安全：支持TLS/SSL加密协议，数据传输需符合GB/T 39267-2020要求。

5 技术要求

5.1 环境感知

5.1.1 障碍物检测：系统应具备实时检测障碍物的能力，检测距离不小于5m，检测精度不低于 ± 10 cm，检测角度不小于 120° 。支持动态障碍物轨迹预测，如行人、牲畜，未来1秒轨迹预测，采样间隔100 ms，预测误差 ≤ 0.3 m。

5.1.2 地形识别：系统应能够识别地形变化，适应不同地形条件下的作业需求，识别精度不低于 ± 5 cm；泥泞、沙地等特殊地形的分类识别能力，准确率 $\geq 98\%$ ，泥泞地识别需结合介电常数传感器 $\epsilon_r \geq 15$ ，沙地识别需结合压力分布标准差 $\sigma \geq 2$ kPa。

5.2 智能决策

5.2.1 路径规划：系统应具备路径规划功能，能够根据作业任务自动生成最优路径，路径规划时间不超过1秒。支持动态重规划功能，全局路径规划时间 ≤ 500 ms，局部避障规划时间 ≤ 100 ms；路径跟踪误差：横向偏差 $\leq \pm 5$ cm，航向角偏差 $\leq \pm 1^\circ$ 。

5.2.2 速度控制：系统应具备速度控制功能，能够根据作业条件自动调整行驶速度，速度控制精度不低于 ± 0.5 km/h。

5.3 人机交互

5.3.1 实时显示：系统应具备实时显示作业状态、路径规划、故障报警等信息的能力，刷新频率不低于 10Hz。

5.3.2 远程控制：系统应支持远程控制，操作人员可以通过移动设备远程监控和控制拖拉机，远程控制延迟不超过 300ms。

5.4 动力控制

5.4.1 发动机输出功率调整：系统应能够根据作业需求自动调整发动机输出功率，确保作业效率，调整响应时间不超过 1 秒。

5.4.2 自动转向：系统应具备自动转向功能，转向精度不低于 ± 2.5 cm，转向响应时间不超过0.5秒。

5.5 安全保障

5.5.1 紧急制动：系统应具备紧急制动功能，当检测到障碍物或信号丢失时，能够自动停车。制动响应时间不超过 0.5 秒。支持多级制动策略（缓刹→急刹）。

5.5.2 故障自诊断：系统应具备故障自诊断功能，能够实时检测系统状态并报警，故障检测准确率不低于95%。

6 试验方法

6.1 环境感知测试

6.1.1 障碍物检测测试

使用障碍物模拟器测试系统的障碍物检测能力，记录检测距离和精度。

6.1.2 地形识别测试

在不同地形条件下测试系统的地形识别能力，记录识别准确率。

6.1.3 极端环境测试

在强光 ≥ 10 万lux、暴雨50 mm/h条件下验证传感器性能。

1) 强光测试：

设备：太阳模拟器的光谱匹配度 $AM1.5G \pm 5\%$ ，光强校准采用NIST可溯源照度计。

步骤：在10万lux下持续照射30分钟，记录摄像头信噪比（ $SNR \geq 40$ dB为合格）。

2) 暴雨测试：

雨滴粒径：0.5~5 mm，速度8~10 m/s；

防水验证：按ISO 20653标准进行IP67喷淋测试，试验时喷嘴流量12.5 L/min，持续时间30分钟。

6.2 智能决策测试

6.2.1 路径规划测试

在模拟作业环境中测试系统的路径规划功能，记录路径规划的准确性和效率。

6.2.2 速度控制测试

在不同作业条件下测试系统的速度控制功能，记录速度调整的响应时间和精度。

6.3 人机交互测试

6.3.1 显示功能测试

测试系统的显示功能，记录信息显示的准确性和实时性。

6.3.2 远程控制测试

测试系统的远程控制功能，记录远程控制的响应时间和操作准确性。

6.4 动力控制测试

6.4.1 发动机输出功率调整测试

在不同作业条件下测试系统的发动机输出功率调整功能，记录功率调整的响应时间和精度。

6.4.2 自动转向测试

测试系统的自动转向功能，记录转向精度和响应时间。

6.5 安全保障测试

6.5.1 紧急制动测试

测试系统的紧急制动功能，记录制动响应时间和制动距离。

6.5.2 故障自诊断测试

测试系统的故障自诊断功能，记录故障检测的准确性和报警响应时间。

6.6 控制策略验证与测试方法

6.6.1 通用控制原则测试

6.6.1.1 实时性与可靠性测试

1) 测试设备：高精度计时器的分辨率 ≤ 1 ms、故障模拟器的电源/信号中断装置。

2) 测试步骤：

A) 在正常工况下，测量系统控制周期与关键模块响应时间（从传感器数据采集到执行指令完成的时间），重复100次，取最大值。

B)模拟关键模块（如制动ECU）单点故障，模拟电源/信号中断。验证冗余切换时间 ≤ 100 ms及功能降级后的可控性（如制动响应时间是否仍 ≤ 0.5 s）。

3)判定标准：

A)控制周期 ≤ 50 ms，关键模块响应时间 ≤ 0.5 s。

B)冗余切换时间 ≤ 100 ms，故障后功能降级不导致系统宕机。

6.6.1.2 自适应调整测试

1)测试设备：可编程负载模拟器的模拟地形阻力、坡度变化、数据记录仪。

2)测试步骤：

A)动态调整作业环境参数，如坡度从 0° 增至 15° ，记录控制参数PID增益、路径规划权重的调整响应时间及最终值。

B)连续运行24小时，验证在线学习参数优化周期与偏差 $\leq 5\%$ 。

3)判定标准：

A)参数调整响应时间 ≤ 200 ms，调整后系统稳定性（如路径跟踪误差 $\leq \pm 5$ cm）。

B)参数优化周期 ≤ 24 小时，离线参数库与在线学习结果偏差 $\leq 5\%$ 。

6.6.2 模块化控制策略测试

6.6.2.1 路径规划与跟踪测试

1)测试设备：高精度RTK定位系统 ± 1 cm、障碍物模拟装置（可移动障碍物）。

2)测试步骤：

A)在静态地图中设置多目标点，验证A*算法全局规划时间（ ≤ 500 ms）及路径合理性（避开已知障碍）。

B)动态引入障碍物（速度 ≤ 5 km/h），验证动态窗口法（DWA）的避障安全距离与重规划周期。（安全距离 ≥ 0.5 m，重规划周期 ≤ 100 ms）

C)在弯道地形中测试路径跟踪精度，记录横向偏差与航向角偏差。（横向偏差 $\leq \pm 5$ cm，航向角偏差 $\leq \pm 1^\circ$ ）

3)判定标准：

A)全局规划时间 ≤ 500 ms，局部避障重规划周期 ≤ 100 ms，避障安全距离 ≥ 0.5 m。

B)路径跟踪误差：横向偏差 $\leq \pm 5$ cm，航向角偏差 $\leq \pm 1^\circ$ 。

6.6.2.2 动力与能耗优化测试

1)测试设备：发动机功率分析仪、油耗计量仪、滑移率检测平台。

2)测试步骤：

A)在不同坡度（ $0^\circ \sim 20^\circ$ ）与负载（50%~100%额定载荷）下，测试Map-Based功率分配策略的燃油效率（提升 $\geq 10\%$ ）。

B)在松散沙地（滑移率 $\geq 15\%$ ）中，验证牵引力-滑移率协同控制的超调量（超调量 $\leq 3\%$ ）。

3)判定标准：

A)燃油效率提升 $\geq 10\%$ （对比传统控制策略）。

B)滑移率超调量 $\leq 3\%$ ，最大牵引效率点滑移率稳定在8%~12%。

6.6.2.3 安全与容错控制测试

1)测试设备：紧急制动测试台、通信干扰模拟器、传感器失效模拟装置。

2)测试步骤：

A)在10 km/h车速下触发紧急制动，记录制动距离与减速度曲线。（距离 ≤ 3 m，减速度 ≥ 4 m/s²）

B)模拟通信中断（CAN总线断开），验证本地控制模式切换时间及功能完整性。

C)禁用主定位传感器（如GPS），测试IMU+里程计融合定位的精度 $\leq \pm 2$ cm。

3)判定标准：

A)制动距离 ≤ 3 m（10 km/h车速），急刹减速度 ≥ 4 m/s²。

B)通信中断切换时间 ≤ 200 ms，融合定位精度 $\leq \pm 2$ cm。

6.6.3 场景化控制策略测试

6.6.3.1 复杂地形作业测试

1)测试场景：坡地（坡度 $\geq 15^\circ$ ）、湿地（介电常数 $\epsilon_r \geq 15$ ）。

2)测试设备：坡度测量仪、介电常数传感器、履带压力分布检测系统。

3)测试步骤：

A)在坡地测试低速模式激活条件（坡度 $\geq 15^\circ$ 时车速 ≤ 5 km/h）及牵引力分配策略。

B)在湿地中模拟打滑（滑移率 $\geq 10\%$ ），验证接地压力调整响应与打滑抑制效果。

4)判定标准：

A)坡地车速 ≤ 5 km/h，牵引力分配偏差 $\leq \pm 0.5$ kN。

B)湿地打滑率 $\leq 5\%$ ，接地压力调整响应时间 ≤ 0.5 s。

6.6.3.2 协同作业测试

1)测试设备：V2X通信模块（延迟 ≤ 150 ms）、多台智能拖拉机、ISOBUS兼容农具。

2)测试步骤：

A)多机编队作业中，测试路径同步精度与避撞功能（间距 ≤ 1 m时触发制动）。

B)联动农具（如犁具），验证深度与角度同步误差。

3)判定标准：

A)编队间距误差 $\leq \pm 1$ m，避撞响应时间 ≤ 0.3 s。

B)农具同步误差 $\leq \pm 2\%$ ，ISOBUS指令传输延迟 ≤ 50 ms。

6.6.4 参数标定与验证测试

6.6.4.1 离线标定测试

1)测试设备：牵引力-滑移率试验台、振动台架、三坐标测量仪。

2)测试步骤：

A)在台架上标定牵引力-滑移率曲线，记录最大效率点滑移率（8%~12%）。

B)通过振动台架测试悬挂系统阻尼特性，验证阻尼调整范围（500~2000 N·s/m，精度 ± 50 N·s/m）。

3)判定标准：

A)滑移率曲线拟合误差 $\leq 3\%$ ，阻尼调整精度 ± 50 N·s/m。

6.6.4.2 在线验证测试

1)测试设备：嵌入式自检模块、实时数据监控系统。

2)测试步骤：

A)连续作业8小时，记录系统自动触发的参数校准次数及耗时。

B)模拟参数异常（如PID增益超限），验证实时校准功能。

3)判定标准：

A)校准触发率100%（异常参数即时检测），校准时间 ≤ 5 分钟。

7 检验规则

7.1 总则

每台产品应经制造厂技术检验部门检验合格，并附有产品质量合格证或标记后方可出厂。

7.2 检验类别

检验类别分为出厂检验、验收检验与型式检验。

7.3 出厂检验

每台智能控制系统在出厂前应进行出厂检验，检验项目包括环境感知、智能决策、人机交互、动力控制和安全保障等。检验合格后方可出厂。

7.4 型式检验

7.4.1 型式检验条件

开关在下列情况之一时，制造厂应进行型式检验：

- a) 新产品或老产品易地生产的试制定型鉴定时；
- b) 正式生产后，如产品结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 成批或大量生产的产品，每两年不少于1次；
- d) 产品停产一年以上，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时；
- f) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时。

8 标志、包装、运输及储存

8.1 标志

8.1.1 每只产品外表面应标明：

- a) 制造厂厂名或商标；
- b) 产品名称和型号；
- c) 使用保养说明。

8.1.2 合格证上应注明：

- a) 制造厂厂名或商标；
- b) 产品名称和型号；
- c) 生产日期或出厂编号。

8.1.3 包装箱外表面应标明：

- a) 制造厂厂名及地址；
- b) 产品名称及型号；
- c) 数量及总质量；
- d) “小心轻放”、“防压”、“防潮”等标志；
- e) 外形尺寸：长×宽×高，单位为毫米（mm）；
- f) 产品执行标准编号。

8.2 包装

产品应装入衬有防潮材料的干燥包装箱内，每只产品应附有制造厂的出厂检验合格证。

8.3 运输

包装完好的产品应允许用任何正常方法运输，并应保证在正常运输过程中产品不致损坏。

8.4 储存

产品应放在干燥和通风的仓库内。在正常保管情况下（温度 $-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $\leq 80\%\text{ RH}$ ）。制造厂应保证产品自出厂之日起在12 个月内不致锈蚀。

产品长期储存（ >6 个月）需定期通电（每月 ≥ 1 小时），电池电压维持 $\geq 11.5\text{ V}$ 。

8.5 其它

如需方有特殊要求，标志、包装、运输及储存也可由供需双方商定。
