

团 体 标 准

T/CAAMM 398—2026

无人驾驶农业机械自动避障系统 技术规范

Unmanned agricultural machinery automatic obstacle avoidance system

Technical specification

（报批公示稿）

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 系统组成 3

5 技术要求 3

6 试验方法 5

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：河南科技大学、龙门实验室、第一拖拉机股份有限公司、宁夏大学、西北农林科技大学、山东理工大学。

本文件主要起草人：全朋坤、李倩文、赵凯旋、姬江涛、陈洪涛、王琳、孙经纬、杜树灿、孙宾宾、王宪良、姚艳春、于潇、李明勇、张仲雄、田世杰。

本文件为首次发布。

无人驾驶农业机械自动避障系统 技术规范

1 范围

本文件规定了无人驾驶农业机械自动避障系统的术语和定义、无人驾驶农业机械自动避障系统组成、技术要求、试验方法等内容。

本文件适用于旱田，具备自动行驶功能的拖拉机、收割机及自走式农业机械等无人驾驶农机的田间自动避障（感知模块：视觉或激光雷达等）。

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 10396 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 安全标志和危险图形 总则
GB/T 4208 外壳防护等级(IP 代码)
GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第 1 部分：通用技术条件
GB/T 9480 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 使用说明书编写规则
GB/T 10395.5-2021 农业机械安全 第 5 部分：驱动式耕作机械
GB/T 25110.1 工业自动化系统与集成 工业应用中的分布式安装 第 1 部分：传感器和执行器
GB/T 36008 机器人与机器人装备 协作机器人
GB/T 37164-2018 自走式农业机械导航系统作业性能要求及评价方法
GB/T 38244 机器人安全总则
GB/T 39521 农业拖拉机和机械 拖拉机和自走式机械的自动导航系统 安全要求
GB/T 42531-2023 农林拖拉机安全 第 1 部分：基本型拖拉机
GB/T 43478 拖拉机 自动辅助驾驶系统通用技术规范
GB/T 46268 农业机械作业北斗监测系统
GB/T 46270 农业机械北斗自动驾驶系统
T/NJ 1123 拖拉机 自动辅助驾驶系统 导航精度要求和试验方法

3 术语和定义

GB/T 46270界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

自动避障系统 automatic obstacle avoidance system

集成环境感知、数据处理、决策控制功能，实时识别作业区域内障碍物，并自动触发农机规避动作的软硬件组合系统。

3.2

自动避障能力 automatic obstacle avoidance capability

自动避障农机在规定作业环境和作业速度下，通过自动避障系统实现障碍物识别、避障路径规划与执行的综合能力。

3.3

自动避障农机 automatic obstacle avoidance agricultural machinery

搭载自动避障系统、车端移动定位站及相关控制模块，具备自主识别作业区域障碍物、执行避障路径和触发农机规避动作能力的农业机械。

3.4

车端移动定位站 vehicle-mounted mobile positioning station

安装于自动避障农机机身，实时采集农机位置航向角及行驶速度数据的定位装置。

3.5

静态障碍物 static obstacle

在农机作业区域内，农机工作过程中位置固定、形态不发生变化的障碍物。

3.6

动态障碍物 dynamic obstacle

在农机作业区域内，农机工作过程中，位置或形态发生变化的障碍物。

3.7

避障路径规划 obstacle avoidance path planning

自动避障系统根据车端移动定位站提供的农机实时位置、环境感知模块获取的障碍物信息及农机作业任务要求，通过避障路径规划算法生成从当前位置绕过障碍物、且回归原规划的作业路径的最优行驶路径。

3.8

障碍类型识别 obstacle type recognition

通过智能算法，识别障碍物类型、并将障碍物信息传输至避障决策单元。

3.9

障碍感知半径 obstacle perception radius

自动避障农机搭载的障碍物识别模块能够有效采集环境数据、识别障碍物的半径。

3.10

障碍识别时间 obstacle recognition time

从传感器接收到障碍物信号开始，到系统完成信号处理、确认障碍物存在并输出有效预警指令为止的时间间隔。

3.11

避障响应时间 obstacle avoidance response time

从障碍物进入传感器有效检测范围、系统捕捉到有效障碍物识别信号开始计时，到避障系统发出制动或路径规划出的转向执行指令为止的间隔时间。

4 系统组成

4.1 基本组成

无人驾驶农机自动避障系统应包括下列模块：

——农机主体。

——感知模块，可获得作业环境信息数据。

——定位模块，可获得农机位置航向角及行驶速度数据。

——决策与执行模块，决策与执行模块至少应包括微控制器、路径规划单元、转向/变速控制单元等功能单元。

——数据处理模块，数据处理模块至少应包括数据存储装置、信号解析单元。

——安全辅助模块，安全辅助模块至少应包括声光报警装置、远程显示与控制终端、故障诊断单元。

4.2 作业适配模块

无人驾驶农机自动避障系统还可包括作业适配模块（机具协同控制装置）等。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 无人驾驶农机自动避障系统应符合本文件要求，并按照批准的技术文件进行设计与开发。

5.1.2 无人驾驶农机自动避障系统传感器的选用和安装应符合GB/T 25110.1的规定。

5.1.3 无人驾驶农机自动避障系统应配备T/NJ 1123要求的导航定位系统。

5.1.4 无人驾驶农机自动避障系统通信模块应能够实时收发农机状态信息。

5.1.5 无人驾驶农机自动避障系统电气及电子元器件质量应符合GB/T 5226.1的相关要求。

5.1.6 无人驾驶农机自动避障系统电气线路应连接可靠，布置应避免摩擦、接触发热及与运动部件干涉。

5.2 安全要求

5.2.1 无人驾驶农机自动避障系统安全标志设计和使用应符合GB 10396的规定。

5.2.2 无人驾驶农机自动避障系统运行中，农机与农机、农机与物及农机与用户(操作员)间协作的安全要求应遵照 GB/T 36008的相关要求。

5.2.3 无人驾驶农机自动避障系统使用说明书应符合GB/T 9480的规定，并至少包括安全操作与维护保养措施及农机作业时远程监控人员配置。

5.2.4 无人驾驶农机自动避障系统安全要求应符合GB/T 38244机器人安全总则中各项安全要求。

5.2.5 无人驾驶农机自动避障系统应具备远程监控与控制功能，以便异常情况下或作业状态应调整时进行人为干预。

5.2.6 无人驾驶农机作业过程中，如通信中断，应在确保安全的情况下停止作业。

5.2.7 无人驾驶农机自动避障系统，应符合GB/T 39521 农业拖拉机和机械 拖拉机和自走式机械的自动导航系统的安全要求

5.2.8 无人驾驶农机自动避障装置系统的防护等级应满足以下要求

a) 驾驶室内装置外壳防护等级应符合GB/T 4208中 IP54的规定。

b) 外露的关键部件（包括感知、储能、动力和传动部件）的防护等级应不低于GB/T 4208中 IP66的规定。

c) 连接线和插接器防护等级应符合GB/T 4208中 IP66。

5.3 作业要求

5.3.1 避障对象识别要求

无人驾驶农机自动避障系统应精准识别作业区域内：

a) 高度应不小于 0.05m 的静态障碍物。

b) 高度应不小于 0.05m，且速度应不小于 1m/s 的移动障碍物。

5.3.2 避障作业环境要求

避障作业环境应同时满足如下要求：

——光线充足时的环境能见度应不小于 500m

——农机行进速度 2~20km/h

5.3.3 避障作业前准备工作

避障作业前的准备工作如下：

a) 作业前，操作人员应接受专项培训，熟练掌握无人驾驶农机自动避障系统开关机、参数调节、手动干预等操作要领。

b) 应检查无人驾驶农机自动避障系统硬件与软件状态，按作业幅宽预设路径参数，加注燃料至额定容量，确保设备满负荷运行能力。

c) 作业前应通过北斗监测系统，符合 GB/T 46268 标准，完成场地测绘，生成作业区域。

d) 作业中应开启远程监控与安全预警，无人驾驶农机与辅助紧急操作人员距离不大于 200m；遇系统故障、信号中断等异常时，设备应自动停机并发出声光报警，人员干预前禁止重启作业。

5.4 功能要求

5.4.1 数据采集与传输

各传感器、控制执行机构及通信设备应能够与机载终端实时通信，用于采集无人驾驶农机自动避障系统的位置、速度、航向及障碍物等关键信息。

5.4.2 数据处理

机载终端软件应能够对导航及作业信息进行处理，包括数据解析、参数设置、障碍识别、相对位置计算及协同决策控制。

5.4.3 导航定位

导航定位应满足以下要求：

- a) 无人驾驶农机自动避障系统应具备满足T/NJ 1123要求的定位精度。
- b) 无人驾驶农机自动避障系统作业性能指标应符合GB/T 37164-2018的规定。
- c) 终端能在通信中断时（盲区）以先进先出的方式存储不少于7000条定位信息，在恢复通信后将储存的定位信息补报上传，可根据需要采用压缩方式上传。

5.4.4 人机交互

机载终端应实时显示车辆位置、速度、航向及障碍物信息，并支持作业参数设置及作业模式切换。

5.4.5 自动上下电

无人驾驶农机自动避障系统，上电操作由关闭状态到待机状态，并完成自检。下电操作由待机状态到关闭状态。

5.4.6 自动识别

自动识别应满足：无人驾驶农机自动避障系统应能够识别各类型障碍物，包括动态（人、动物等）、静态障碍物（作物和坟头等）。

5.4.7 自动避障

自动避障应满足以下要求：

- a) 当障碍物进入无人驾驶农机安全区域内，且不具备安全绕行条件时，系统应及时减速或紧急停车，不应与障碍物发生碰撞。
- b) 无人驾驶农机自动避障系统，应在具有避障路线时，能够规划行驶路线，无避障路线时，能够停止并发出提示。

5.5 性能要求

在符合本标准所规定的避障作业要求的前提下，农机田间自动避障系统的性能应满足表 1 的规定。

表 1 农机田间自动避障系统的性能

序号	检测项目类别	指标内容	指标要求	对应条款号
1	人、动物、石块和坟墓	识别精确率 P , %	≥ 98	6.3.1
		识别召回率 R , %	≥ 98	6.3.1
		识别平均精度 $mAP50$, %	≥ 90	6.3.1
2	作物	识别精确率 P , %	≥ 90	6.3.1
		识别召回率 R , %	≥ 90	6.3.1
		识别平均精度 $mAP50$, %	≥ 80	6.3.1
3	障碍物	感知半径, m	≥ 25	6.3.2
		障碍识别时间, s	≤ 0.15	6.3.3
		避障响应时间, s	≤ 0.40	6.3.4

6 试验方法

6.1 试验条件

6.1.1 场地条件

a) 田间平地试验用标准农田,应为平整的熟地,宽度不小于50 m,长度不小于150 m, 横向坡度(测试路线垂直方向)不大于3°,沿测试路线的高度变化应不大于1m, 应符合GB/T 43478 拖拉机 自动辅助驾驶系统通用技术规范的要求。

b) 田间坡地试验用标准农田, 应为平整的熟地,宽度不小于 50 m,长度不小于 150 m, 横向坡度(测试路线垂直方向)为 3°~10°,沿测试路线的高度变化应不大于 1m, 应符合 GB/T 43478 拖拉机 自动辅助驾驶系统通用技术规范的要求。

c) 试验场地定位装置在行进航线 50m 范围内,不应存在可能引起多径传输干扰的金属或其他干扰面。

d) 作业路径区按无人驾驶农机作业幅宽规划至少 4 条平行路径,幅宽 2m 时,间距 2m;幅宽 3m 时,间距 3m,单条路径长度 $\geq 80\text{m}$,确保完整覆盖避障全流程测试场景。

e) 行间每隔 100m 及场地四周均修建一条通道,通道宽度 $\geq 3\text{m}$,便于测试设备运输调试与应急处置,障碍布设区应分散设置于路径间,单区面积 $\geq 15\text{m} \times 15\text{m}$,相邻区间距 $\geq 20\text{m}$,保障障碍测试的独立性与全面性。

f) 试验用模拟障碍物应符合以下典型尺寸:

模拟静态障碍物应符合以下典型尺寸:

模拟坟头:底部直径 1.2 m~2.0 m,高度 0.4 m~1.5 m。

模拟作物植株:高度 0.6 m~1.8m,单株直径 0.02 m~0.05 m。

模拟石块等坚硬物:高度 0.05 m~1.0m,宽度 0.05 m~1.0m。

模拟电线杆:地面以上 1.0 m 处杆体直径 0.15 m~0.3 m,地面以上高度 4.0 m~6.0 m,埋深 $\geq 0.8\text{m}$ 。

模拟动态障碍物应符合以下典型尺寸:

模拟成人:体高 1.6 m~1.8 m,体宽 0.4 m~0.5 m,行走速度 1.0 m/s~3.0 m/s。

模拟小型动物:体高 0.2 m~0.4 m,体宽 0.1 m~0.3 m,行走速度 1.0 m/s~3.0 m/s。

模拟中型动物:体高 0.4 m~1.2 m,体宽 0.3 m~0.5 m,行走速度 1.0 m/s~3.0 m/s。

模拟大型动物:体高 1.2 m~1.6 m,体宽 0.5 m~1.0 m,行走速度 1.0 m/s~5.0 m/s。

6.1.2 环境要求

以农机常规作业季节为主,北方地区测试准备时间为4月中下旬至10月中下旬(避开冬季冻土层),长江以南地区测试准备时间为3月上旬至11月下旬(避开梅雨集中期),确保测试环境温度-10°C~50°C、风速 $\leq 5\text{m/s}$ 、能见度 $\geq 500\text{m}$ 。

6.1.3 速度设置

农机具作业速度分为:低中高三个速度级别分别进行测试:

a) 低速: 2-8km/h。

b) 中速: 8-14km/h。

c) 高速: 14-20km/h。

6.1.4 测试准备

a) 测试前应选择具有环境感知和定位模块的无人驾驶农机,定位误差 $\leq \pm 2.5\text{cm}$,设备无机械损伤,传感器无遮挡。

b) 测试前应清理场地杂物，消除无关干扰因素。场地应预先完成配套基站架设，确保定位信号连续，作业时无高大建筑遮挡。

6.2 调试与校准要求

6.2.1 通用要求

新装机或首次加装避障系统的无人驾驶农机，应在出厂前完成厂内基础调试，进场后结合作业场地环境完成现场校准。

6.2.2 扫描频率校准

感知模块（激光雷达或视觉等）扫描频率不小于 10Hz。

6.2.3 测距精度校准

在平整场地设置标准距离靶标，距离感知模块分别为 5m、10m、15m、20m，靶标为高反射率板（反射率 $\geq 80\%$ ），采集的靶标实际测距值与标准距离的偏差，要求误差 $\leq \pm 2.5\text{cm}$ ，且同一距离多次测量（ ≥ 10 次）的标准差 $\leq 2\text{cm}$ 。

6.3 指标测定方法

6.3.1 障碍物识别性能测定

为了检测避障系统检测障碍物的性能。评价指标包括：召回率（ R ）、准确率（ P ）和多类特征平均精度（ mAP ）。评价指标的具体公式如下。

a) 精确率 P （Precision），表征模型检测出的目标中真实目标所占比例，反映系统抑制误检的能力。按公式（1）计算，测试次数不小于 10 次，求平均值。

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

式中，

TP ——识别正确的数量；

FP ——识别错误的特征数量。

b) 召回率 R （Recall），表征数据集中所有真实目标被成功检出的比例，反映系统抑制漏检的能力。按公式（2）计算，测试次数不小于 10 次，求平均值。

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

式中，

TP ——识别正确的数量；

FN ——未识别的特征数量。

c) 平均精度 $mAP@0.5$ （ $mAP50$ ），表征障碍物预测框与真实标注框交并比 IoU 不小于 0.5，按公式（3）计算，测试次数不小于 10 次，求平均值。

$$mAP50 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n AP_i \quad (3)$$

式中，

n ——检测分类的种数；
 AP_i ——第 i 个特征的 AP 值。

6.3.2 障碍物感知半径测定

将障碍物识别模型从超出感知模块理论感知范围的远距离（如 50m）开始，沿感知模块主扫描方向缓慢向原点移动，同步监测感知模块数据输出，当无人驾驶农机自动避障系统首次识别到障碍物时，记录此时障碍与原点的实际距离，障碍感知半径为多次测定过程中，首次正确识别障碍时的距离平均值，按公式（4）计算。

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i \quad (4)$$

式中，
 R 为障碍感知半径，m；
 D_i 为第 i 次测定中，感知模块首次正确识别静态障碍时，障碍中心与农机原点的实际距离，m；
 n 为重复测定次数， n 不小于 10。

6.3.3 障碍识别时间测定

从传感器接收到障碍物信号开始，到系统完成信号处理、确认障碍物存在并输出有效预警指令为止的时间间隔，按公式（5）计算。

$$\bar{T}_{\text{ort}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{\text{ort}_i2} - T_{\text{ort}_i1} \quad (5)$$

式中，
 $\bar{T}_{\text{ort}}$ 为障碍平均识别时间，s；
 T_{ort_i1} 为第 i 次测定中，从传感器接收到障碍物信号的时刻，s；
 T_{ort_i2} 为第 i 次测定中，系统完成信号处理、确认障碍物存在并输出有效预警指令的时刻，s；
 n 为重复测定次数， n 不小于 10。

6.3.4 避障响应时间测定

从障碍物进入传感器有效检测范围、系统捕捉到有效障碍物识别信号开始计时，到避障系统发出制动或路径规划出的转向执行指令为止的间隔时间，按公式（6）计算。

$$\bar{T}_{\text{oart}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{\text{oart}_i2} - T_{\text{oart}_i1} \quad (6)$$

式中，
 $\bar{T}$ 为避障平均响应时间，s；
 T_{oart_i1} 为第 i 次测定中，障碍进入传感器有效检测范围、系统捕捉到有效障碍物识别信号的时刻，s；
 T_{oart_i2} 为第 i 次测定中，避障系统发出制动或路径规划出的转向执行指令为止的时刻，s；
 n 为重复测定次数， n 不小于 10。