

# 团 体 标 准

T/CAAMM xxxx—20xx

## 大田作业无人农机自动避障系统 技术规范

Technical Specification for Unmanned Agricultural Machinery Automatic

Obstacle Avoidance System in Field Operations

(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。

# 大田作业无人农机自动避障系统 技术规范

## 1 范围

本文件规定了大田作业无人农机自动避障的术语和定义、系统组成、技术要求、试验方法等内容。本文件适用于具备自动行驶功能的拖拉机、收割机、植保机等无人农机的田间自动避障。

## 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 46270-2025 农业机械北斗自动驾驶系统

GB/T 46268-2025 农业机械作业北斗监测系统

GB/T 43478-2023 拖拉机自动辅助驾驶系统通用技术规范

GB/T 42531-2023 农林拖拉机安全 第1部分：基本型拖拉机

GB/T 10395.5-2021 农业机械安全 第5部分：驱动式耕作机械

GB/T 38874.1-2020 农林拖拉机和机械 控制系统安全相关部件 第1部分：设计与开发通则

GB/T 39521-2020 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

T/NJ 1260-2021 农林拖拉机和自走式机械 驾驶自动化分级

GB/T 25110.1-2010 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

T/NJ 1123-2021 拖拉机 自动辅助驾驶系统 导航精度要求和试验方法

GB/T 38244-2019 机器人安全总则

GB/T 5226.1-2019 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB 10396-2006 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 36008-2018 机器人与机器人装备 协作机器人

GB/T 9480-2001 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

## 3 术语和定义

GB/T 46270-2025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、规划并执行避障路径能力的农业机械。

### 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，集成全球导航卫星系统，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

**固定障碍** fixed 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

**移动障碍** mobile 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、且回归原作业路径的最优行驶路径。

### 3.8

**障碍类型识别** obstacle type recognition

通过点云分割算法，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

**障碍识别准确率** obstacle recognition accuracy

通过激光雷达点云数据分割算法处理后，正确识别的障碍数量与作业区域内实际存在的符合阈值条件的障碍总数量的百分比。

### 3.10

**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。

### 3.11

#### 避障响应时间 obstacle avoidance response time

从系统成功识别障碍物并输出有效障碍物信息的时刻起,至农机执行机构接收避障决策单元发出的控制指令且产生可检测动作的时刻止,所经历的时间间隔。

## 4 系统组成

### 4.1 基本组成

自动避障系统应包括农机主体、感知模块(激光雷达等采集装置)、定位模块(北斗移动定位站、卫星定位天线)、决策与执行模块(微控制器、路径规划单元、转向/变速控制单元)、数据处理模块(数据存储装置、信号解析单元)、安全辅助模块(声光报警装置、远程显示与控制终端、故障诊断单元)。

### 4.2 可选组成

除上述基本组成外,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 大田作业无人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 大田作业无人农机自动避障系统传感器的选用和安装应符合GB/T 25110.1-2010的规定。

5.1.3 大田作业无人农机自动避障系统应配备T/NJ 1123-2021要求的导航定位系统。

5.1.4 大田作业无人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 大田作业无人农机自动避障系统电气及电子元器件质量应符合GB/T 5226.1-2019的相关要求。

5.1.6 大田作业无人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 大田作业无人农机自动避障系统安全标志设计和使用应符合GB 10396-2006的规定。

5.2.2 大田作业无人农机自动避障系统电气安全性能应符合GB18384-2020的规定。

5.2.3 大田作业无人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)间协作的安全要求须遵照 GB/T 36008-2018的相关要求。

5.2.4 大田作业无人农机自动避障系统使用说明书应符合GB/T 9480-2001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。

5.2.5 大田作业无人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。

5.2.6 大田作业无人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需调整时进行人为干预。

5.2.7 大田作业无人农机作业过程中，如通信中断，应在确保安全的情况下停止作业。

5.2.8 大田作业无人农机自动避障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IP65。
- 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IP65。
- c) 连接线和插接器防护等级应符合IP66。

### 5.3 作业要求

#### 5.3.1 避障对象识别要求

无人农机避障系统需精准识别作业区域内固定障碍与移动障碍，静态障碍物直径 $\geq 0.5\text{m}$ ，动态障碍物速度 $\leq 2\text{m/s}$ 。

#### 5.3.2 避障作业环境要求

当作业区域障碍物分布清晰、环境能见度 $\geq 500\text{m}$ 、农机行进速度  $2\sim 10\text{km/h}$  时，即为避障作业适期；

#### 5.3.3 避障作业前准备工作

- a) 作业前，操作人员需接受专项培训，熟练掌握避障系统开关机、参数调节、手动干预等操作要领。
- b) 需检查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) 作业前需通过北斗监测系统（符合 GB/T 46268-2025）完成场地测绘，生成作业区域。
- d) 作业中需开启远程监控与安全预警，无人农机与操作人员距离 $\leq 500\text{m}$ ；遇系统故障、信号中断等异常时，设备需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，用于采集大田作业无人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、路径规划、相对位置计算及协同决策控制。

#### 5.4.3 导航定位

- a) 大田作业无人农机自动避障系统应具备高精度定位功能，定位精度应符合T/NJ 1123-2021的规定。
- b) 大田作业无人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。
- d) 定时定位：从终端收到监控中心下发的实时定位请求到终端应答，时间不大于10s。
- e) 记录时间精度：在24h累计时间允许误差在 $\pm 5\text{s}$ 以内。



#### 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模式切换。

#### 5.4.5 自动上下电

大田作业无人农机自动避障系统，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 自动出入库

a) 非作业状态下，大田作业无人农机自动避障系统应能进行自动出入库，库位尺寸满足大于车辆最大尺寸+50cm。

b) 在出入库过程中如遇到障碍能够识别并停避障。

#### 5.4.7 自动行驶

a) 车辆能够识别被允许行驶的道路，并在该道路正常行驶，并进行车道保持，行驶横向误差 $\leq 2.5\text{cm}$ 。

b) 应能正常通过比自身车宽 $>50\text{cm}$ 的道路。

c) 大田作业无人农机自动避障系统能够在车辆允许的越障、过坎、爬坡、涉水能力下进行自动行驶、制动、驻车、起步等操作。

d) 车辆应能够在无GNSS或弱GNSS信号下行驶或安全停止。

#### 5.4.8 自动识别

a) 大田作业无人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、坑道和坟头等）。

b) 大田作业无人农机自动避障系统应该能够进行低矮障碍物识别，识别至少高度为20cm的障碍物。

#### 5.4.9 自动避障

a) 自动驾驶具有动态避障功能，在行驶方向0.5米位置突然出现障碍物能够安全紧急停止。

b) 大田作业无人农机自动避障系统具有合理的避障策略，在具有避障路线时能够重新规划行驶路线，无避障路线时，能够停止并发出提示。

### 6 试验方法

#### 6.1 测试场地建设标准

##### 6.1.1 建设标准

a) 平地或  $10^\circ$  以下的缓坡地、无明显沟壑与积水洼地的农业用地，优先选用我国华北平原、东北松嫩平原、长江中下游平原等典型农业产区的耕地，确保适配无人农机常规作业场景，避免地形干扰自动避障功能测试结果。

b) 选择易于无人农机通行且地面性状稳定的地块，土壤需满足无深泥泞、无硬结块的基础要求，防止极端土壤条件影响无人农机底盘行驶稳定性及定位模块数据精度。

c) 核心测试区（含作业路径与障碍布设区）面积 $\geq 120\text{m} \times 120\text{m}$ ，周边预留  $30\text{m} \times 30\text{m}$  农机调试与应

急待命区，保障测试期间设备调试及应急处置空间。

d) 作业路径区按无人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 $\geq 3\text{m}$ ，便于测试设备运输与应急处置，障碍布设区需分散设置于路径间，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。

### 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 $-10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 、风速 $\leq 5\text{m/s}$ 、能见度 $\geq 500\text{m}$ 。

### 6.1.3 测试基础条件

a) 测试前应选择搭载激光雷达和北斗移动定位站的无人农机，定位误差 $\leq \pm 2.5\text{cm}$ ，设备无机械损伤，传感器无遮挡。

b) 测试前需清理场地杂物，消除无关干扰因素。场地需预先完成北斗基站架设，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

新装机或首次加装激光雷达避障系统的无人农机，需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；激光雷达硬件更换（如雷达模块、数据线束）后，需重新进行全套校准。

### 6.2.1 点云密度与扫描频率校准

使用激光雷达厂商配套校准软件，设定雷达扫描频率为 10Hz，在 10m 距离处测量点云密度，障碍物表面点云覆盖均匀，无明显空缺区域。

### 6.2.2 测距精度校准

在平整场地设置标准距离靶标，距离激光雷达分别为 5m、10m、15m、20m，靶标为高反射率板（反射率 $\geq 80\%$ ），采集点云数据计算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（ $\geq 10$  次）的标准差 $\leq 2\text{cm}$ 。

### 6.2.3 安装姿态校准

校准雷达安装角度，确保雷达扫描平面与农机行驶方向保持平行，避免安装倾斜导致的扫描范围偏差。

### 6.2.4 通信模块调试

终端应支持基于通用 TD-SCDMA、WCDMA、TD-LTE、FDD-LTE 或其他无线通信网络传输机制下的通信模式之一，至少支持两个远程连接，即主监控中心和备份监控中心的链接，能在与主监控中心通信中断时自动切换至备份监控中心；网络信号正常的情况下 15s 内连上服务器，支持长连接。

## 6.3 指标测定方法

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	检测项目名称	指标要求	对应条款号
1	障碍识别准确率，%	≥95	6.3.1
2	障碍感知半径，m	≥25	6.3.2
3	避障响应时间，s	0.1	6.3.3

### 6.3.1 障碍识别准确率测定

障碍识别准确率  $P$  为测试中正确识别的符合阈值条件的障碍数量与作业区域内实际存在的符合阈值条件的障碍总数量的百分比，按公式（1）进行计算。

$$P = \frac{N_{correct}}{N_{actual}} \times 100\% \quad (1)$$

式中，

$P$  为障碍识别准确率，%；

$N_{correct}$  为正确识别出的障碍个数；

$N_{actual}$  为测试环境中实际存在的障碍物个数。

### 6.3.2 障碍感知半径测定

将障碍模型从超出激光雷达理论感知范围的远距离（如 50m）开始，沿激光雷达主扫描方向缓慢向原点移动，同步监测激光雷达点云数据输出，当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（2）计算。

$$R = \sum_{i=1}^n D_i \quad (2)$$

式中，

$R$  为障碍感知半径，m；

$D_i$  为第  $i$  次测定中，激光雷达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， $n \geq 3$ 。

### 6.3.3 避障响应时间测定

避障响应时间  $T$  为激光雷达输出有效障碍信息时刻与农机执行机构产生可检测动作时刻的时间间隔，按公式（3）计算。

$$T = T_2 - T_1 \quad (3)$$

式中，

$T$  为避障响应时间，s；

$T_1$  为激光雷达点云经过分割后首次输出障碍物信息的时刻，s；

$T_2$  为安装在农机上的执行机构首次执行避障动作的时刻，s。