

BD

中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 440088.1—2022

农业机械北斗导航无人驾驶 与自主作业系统 第1部分：系统要求

Autonomous driving and operation systems based on BDS for agricultural
machinery —
Part 1: System requirements



2022-12-30 发布

2023-01-30 实施

中国卫星导航系统管理办公室 批准

目 次

前言.....	III
引言.....	IV
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义、缩略语.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.2 缩略语.....	2
4 系统要求.....	2
4.1 系统组成.....	2
4.2 功能要求.....	3
4.3 产品分级.....	3
4.4 数据通信要求.....	4
4.5 性能要求.....	4
4.6 可靠性要求.....	4
4.7 安全性要求.....	5
5 测试要求.....	5
5.1 测试场地.....	5
5.2 测试项目.....	5
5.3 数据通信测试.....	6
5.4 性能测试.....	6
5.5 可靠性测试.....	7
5.6 安全性测试.....	8
6 故障及处理.....	8
参考文献.....	9

前 言

本文件是BD 440088《农业机械北斗导航无人驾驶与自主作业系统》的第1部分。BD 440088已经发布了以下部分：

——第1部分：系统要求；

——第2部分：设备要求。

本文件由中国卫星导航系统管理办公室提出。

本文件由全国北斗卫星导航标准化技术委员会（SAC/TC 544）归口。

本文件起草单位：中国农业大学、潍柴雷沃重工股份有限公司、上海联适导航技术股份有限公司、常州东风无级变速器有限公司、中国一拖集团有限公司、碧桂园广东皓耘科技有限公司、北京博创联动科技有限公司、千寻位置网络有限公司、潍柴动力股份有限公司、山东理工大学。

本文件主要起草人：杨丽丽、吴才聪、王 辉、李 由、程 越、姜 斌、王 进、黄志雄、赵永升、王清泉、胡冰冰、孙凯信、马曰鑫、张彦斐、陈智博。

引 言

精准作业与信息化引领着农业机械的发展，近几年中国自主研发的北斗卫星导航系统（BDS）在农业机械领域逐步展开应用，推动农业机械高新技术发展，提高了经济效益，降低了农业机械日常使用成本，成为推动精准农业及农业信息化的新动能，加装北斗导航及自主作业系统的农业机械逐步成为农业机械市场的发展趋势，无人驾驶让现代化农业生产更加精准、高效、智能。

目前有部分农业机械企业和导航企业在进行农业机械无人驾驶与自主作业系统的研发，但研发标准各异，缺少框架性标准来约定完整系统构成及一般要求，为推动农业机械无人驾驶与自主作业系统的规范性发展，行业迫切需要有针对性的进行标准的制定，推进整个行业的规模化和应用推广。

《农业机械北斗导航无人驾驶与自主作业系统》标准分为以下部分：

- 第1部分：系统要求；
- 第2部分：设备要求；
- 第3部分：管理平台要求。

第1部分围绕顶层设计要求阐述了农机无人驾驶系统的系统要求，第2、3部分是系统构成要素的具体要求，对应部分内容的细化。

农业机械北斗导航无人驾驶与自主作业系统

第 1 部分：系统要求

1 范围

本文件规定了农业机械北斗导航无人驾驶与自主作业系统的组成、功能、性能、接口及测试要求等。

本文件适用于农业机械北斗导航无人驾驶与自主作业系统（以下简称农机无人作业系统）的设计、研制、检验和应用。

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，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 24648.1—2009 拖拉机可靠性考核

GB/T 24648.2—2009 工程农机产品可靠性考核 评定指标体系及故障分类通则

GB/T 35381 （所有部分）农林拖拉机和机械 串行控制和通信数据网络

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 38874 （所有部分）农林拖拉机和机械 控制系统安全相关部件

GB/T 39267 北斗卫星导航术语

GB/T 39517.1 农林拖拉机和机械农用定位与导航系统测试规程 第 1 部分：卫星定位装置的动态测试

GB/T 39517.2 农林拖拉机和机械 农用定位与导航系统测试规程 第 2 部分：在直线和水平运行状态下卫星自动导航系统的测试

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

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

GB/T 39267 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

自主作业 **autonomous operation**

按规划的路径行驶和作业，自动执行农业机械作业过程中各项控制功能的过程。

3.1.2

无人驾驶 **autonomous driving**

车辆以自动的方式持续地执行部分或全部行驶任务。

3.1.3

半封闭环境 semi-closed environment

具备农业机械无人驾驶条件，包括农田、机耕道、机库的生产场景，具有相对独立可控的作业环境，且场地不易受外界因素干扰的区域。

3.1.4

机耕道 tractor road

可通行农业机械的道路。

3.1.5

简单气象 simple meteorology

农机在人的感知能力范围内可以正常作业的天气。

3.1.6

复杂气象 complex meteorology

农机在人的感知能力范围内不能正常作业的特殊天气，如雾天、霾天、沙尘等。

3.1.7

告警时间 alert time

从故障产生到声、光类报警的时间间隔。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

MTBF：平均故障间隔时间（Mean Time Between Failure）

MTTF：首次故障平均工作时间（Mean Time To First Failure）

RTK：实时动态载波相位差分技术（Real-time kinematic）

4 系统要求

4.1 系统组成

农机无人作业系统的一般组成原理框图见图 1，组成如下：

- a) 定位单元：实现农业无人作业系统的高精度定位，至少应包括北斗/GNSS 定位模块、北斗/GNSS 卫星信号接收天线、差分信号接收模块；
- b) 传感单元：实现对自身、周围环境及作业的状态感知，一般分为主机内置传感单元及外置传感单元；
- c) 控制单元：实现无人驾驶农业机械转场与作业的控制，一般包括电控转向、电控速度、电控制动、电控作业；
- d) 计算单元：实现对采集到的信息进行处理的硬件单元，一般包括计算设备、计算设备接口、

存储设备；

- e) 通信单元：实现车辆内部以及车辆与外部的通信；
- f) 人机交互单元：实现农业机械与人的信息交互的硬件设备，一般包括显示器、模式切换按钮、紧急停止开关、语音设备；
- g) 管理平台：实现软件升级、数据更新、信息安全控制、车辆数据收集等各种服务。

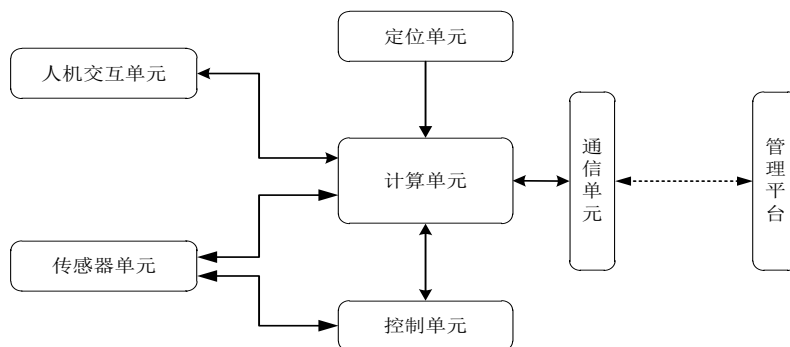


图1 农机无人作业系统组成原理方框图

4.2 功能要求

农机无人作业系统在半封闭环境下的一般功能要求如下：

- a) 系统具备接收卫星定位信号，高精度位置解算能力；
- b) 精准控制各种农机设备的操作；
- c) 具备通过移动网络上报农机状态数据，接收控制指令等功能。

4.3 产品分级

农机无人作业系统根据自动化的能力划分为6个等级：

- a) L0：简单气象条件下实现在平地田中无人直线行驶及作业；
- b) L1：简单气象条件下实现在平地、坡地田中无人直线行驶及作业、地头转向；
- c) L2：简单气象条件下实现在平地、坡地田中无人直线行驶及作业、地头转向、机具控制，在机耕道场景无人自动行驶；
- d) L3：简单及复杂气象条件下实现平地、坡地田中无人直线行驶及作业、地头转向、机具控制，在机耕道及车库场景无人自动行驶；
- e) L4：简单及复杂气象条件下实现在平地、坡地田中无人直线行驶及作业、地头转向、机具控制、机具挂接，在机耕道及车库场景无人自动行驶；
- f) L5：简单及复杂气象条件下实现在平地、坡地田中无人直线行驶及作业、地头转向、机具控制、机具挂接、自动补给，在机耕道及车库场景无人自动行驶。

4.4 数据通信要求

数据通信要求如下：

- a) 车载本地通信，本地通信交互协议应符合 GB/T 35381 的要求；
- b) 车辆与管理平台通信：
 - 1) 应具有加密传输和身份认证功能；
 - 2) 车辆具备主动上报和被动应答功能，上报延时秒级，数据上报频率 0.1Hz~5Hz。

4.5 性能要求

农机无人作业系统在半封闭环境下性能要求如下：

- a) 室外定位：
 - 1) 平面定位精度： $\leq 2\text{cm}$ (RMS)，高程定位精度： $\leq 5\text{cm}$ (RMS)；
 - 2) 精度发散状态 (RTK 浮动解) 及时告警时间小于 3s；
 - 3) 综合定位可用性优于 99%。
- b) 室内机库定位：室内机库定位精度应优于 10cm (1σ)。
- c) 导航作业控制：
 - 1) L0~L5，直线作业精度优于 2.5cm，地头起落线作业精度优于 20cm；
 - 2) 调头上线距离小于 5m。
- d) 自主作业：作业覆盖率旱田不低于 95%、水田不低于 90%。
- e) 环境感知：
 - 1) L0~L2，简单气象目标识别准确率优于 90%；无人驾驶系统最小识别距离大于 2 倍的最高速度下的自主制动最大距离；
 - 2) L3~L5，满足 L0~L2 要求的前提下，复杂气象目标识别准确率优于 70%；无人驾驶系统最小识别距离大于 1.5 倍的最高速度下的自主制动最大距离。
- f) 车辆速度控制：
 - 1) 速度控制精度优于 0.5km/h；
 - 2) 平均制动加速度不小于 2.5m/s^2 。
- g) 人工驾驶模式优先级最高，当人工接管时，应退出可视遥控驾驶、辅助驾驶和自动驾驶模式，人工/自动模式切换响应时间小于 3s；
- h) L0~L5，农机作业异常本地告警时间小于 3s。

4.6 可靠性要求

可靠性要求如下：

a) L0、L1 和 L2 级的农机无人作业系统应达到以下要求：

- 1) $MTTFF \geq 300\text{h}$;
- 2) $MTBF \geq 200\text{h}$;
- 3) 系统平均单次故障定位时间小于 1h。

b) L3、L4、L5 级的农机无人作业系统应达到以下要求：

- 1) $MTTFF \geq 500\text{h}$;
- 2) $MTBF \geq 300\text{h}$;
- 3) 系统平均单次故障定位时间小于 0.5h。

4.7 安全性要求

安全性要求如下：

- a) L0~L5 农机控制系统从设计到生产全流程的安全要求应符合 GB/T 38874 的相关规定；
- b) 作业安全应符合 GB/T 39521-2020 中 4.3 的要求；

5 测试要求

5.1 测试场地

测试场地要求如下：

- a) 机耕道测试道路平坦，路基宽度应不小于 3.5m，路肩宽度应为 0.5m，行车道宽度应不小于 2.5m，行驶速度设计为 20km/h；
- b) 田间试验用农田应为平整的熟地，长度不小于 150m，宽度不小于 100m 的矩形区域，倾斜度小于 3° ；测试坡地试验用农田应为耕作过的熟田，宽度不小于 50 m，长度不小于 150m，倾斜度 $3^\circ \sim 10^\circ$ ；
- c) 测试场地 4G 或 5G 信号良好，且无强烈电磁信号干扰；
- d) 测试环境良好，无雨、雪、冰雹等恶劣天气；
- e) 测试场地导航卫星信号接收良好，周围 50m 内不应有金属或其他大面积反射面；
- f) 要求具有足够的安全保障措施，防止整机失控导致事故的发生。

5.2 测试项目

测试项目及对应的要求、测试方法见表 1。

表 1 无人作业系统测试项目及方法

序号	测试项目		指标要求对应章条号	测试方法对应章条号
1	数据通信	车载本地通信	4.4 a)	5.3 a)
		车辆与平台远程通信	4.4 b)	5.3 b)
2	性能	室外定位	4.5 a)	5.4.1 a)
		室内定位	4.5 b)	5.4.1 b)
		导航作业控制	4.5 c)	5.4.2
		自主作业	4.5 d)	5.4.3
		环境感知	4.5 e) 1)	5.4.4 a)
			4.5 e) 2)	5.4.4 b)
		车辆速度控制	4.5 f) 1)	5.4.5 a)
			4.5 f) 2)	5.4.5 b)
		人工/自动模式切换	4.5 g)	5.4.6
作业异常本地告警	4.5 h)	5.4.7		
3	可靠性	MTTFF	4.6 a) 1)	5.5 a)
			4.6 b) 1)	
		MTBF	4.6 a) 2)	5.5 b)
			4.6 b) 2)	
系统平均单次故障定位时间	4.6 a) 3)	5.5 c)		
	4.6 b) 3)			
4	安全性	从设计到生产全流程的安全	4.7	5.6

5.3 数据通信测试

数据通信测试方法如下：

- a) 车载本地通信测试：按照 GB/T 35381 规定的内容执行；
- b) 车辆与平台远程通信测试：
 - 1) 通过加密和不加密传输，验证数据通信是否正常；
 - 2) 车辆上报数据增加时间戳，通过管理平台统计车辆主动上报数据，计算时间间隔。

5.4 性能测试

5.4.1 定位测试

定位性能测试方法如下：

- a) 室外定位测试：按照 GB/T 39517.1 和 GB/T 39517.2 规定的内容执行；
- b) 室内定位测试：
 - 1) 车辆静止在已知坐标点，采集 1000 组系统定位坐标，与已知坐标进行对比，计算均方根误差；
 - 2) 车辆沿已知直线轨迹运动，采集 1000 组系统定位数据，计算每一个实时定位数据到直

线轨迹的距离，计算均方根误差。

5.4.2 导航作业测试

按照 GB/T 37164-2018 规定的内容执行。

5.4.3 自主作业测试

按 5.1b) 的场地要求，通过计算累计作业面积，除以田块总的作业面积进行核算。

5.4.4 环境感知测试

环境感知测试方法如下：

- a) 目标识别率：分别在 1km/h、5km/h、10km/h 车速下行进，在车辆行驶路径（包含直线、曲线及掉头）上放置假人、拖拉机模型等典型障碍物信息，共测量 50 个障碍物，统计障碍物成功识别的次数，成功识别的次数除以总的障碍物数量计算准确率；
- b) 最小识别距离：记录所有识别的障碍物与车辆距离，取最大值。

5.4.5 车辆速度测试

车辆速度测试方法如下：

- a) 速度控制精度测试：车辆分别在以 1km/h、5km/h、10km/h 的速度行进，待速度稳定后，间隔 100ms 采集 1000 个速度数值，去掉最大值和最小值后取平均值；
- b) 平均制动加速度测试：车辆分别在 1km/h、5km/h、10km/h 的车速 (v) 下行进，待速度稳定后施加最大制动力，统计从开始制动到速度为 0 的时间 t ，计算 v/t ，取最小值。

5.4.6 人工/自动模式切换测试

记录农机运行数据，分别统计人工切换到自动、自动切换到人工的时间，取最大值。

5.4.7 作业异常本地告警测试

人为触发相应故障 10 次，记录故障触发到产生故障报警的时间，取最大值。

5.5 可靠性测试

可靠性测试方法如下：

- a) MTTF 测试：按照 GB/T 24648.2—2009 规定的方法执行；
- b) MTBF 测试：按照 GB/T 24648.1—2009 规定的方法执行；
- c) 系统平均单次故障定位时间测试计算见公式 (1)。

$$T = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^n t_i \dots\dots\dots (1)$$

式中：

T ——系统单次故障定位时间，单位为小时（h）；

r ——被试验农机无人作业系统在试验或使用时期内（包括磨合和性能试验期间）出现故障总次数；

n ——试验总次数；

t_i ——第 i 次被试验农机无人作业驾驶系统单次故障定位时间，单位为小时（h）。

5.6 安全性测试

设计到生产的安全性测试，按照 GB/T 38874 规定的内容执行。

6 故障及处理

故障包括农业机械本身出现的故障及无人控制系统、传感系统等出现的故障。按严重程度至少应划分为 3 个等级，各级对应的故障现象和应对策略见表 2。

表 2 无人作业系统故障等级及应对策略

故障等级	严重程度	故障描述	故障策略	故障恢复
0	严重	核心功能故障，影响运行安全，造成重大经济损失，不能较快修复	激活故障码，立即停止作业，发出声光报警，同时向云平台发出报警信息	故障排除，系统重新上电后恢复
1	一般	一般或者辅助功能故障，不影响运行安全，可较快（60min）修复	激活故障码，降性能运行，事后维修，发出声光报警，同时向云平台发出报警信息	故障排除，当前上电周期即可恢复
2	轻度	不影响系统正常运行，功能和性能正常，可快速（10min）简易修复	激活故障码，正常运行，事后维修，并向云平台发出报警信息。	故障排除，当前上电周期即可恢复
注：“恢复”即故障码由激活状态变为非激活状态，成为历史故障码，且消除声光报警以及云平台报警信息。				

参 考 文 献

- [1] GB/T 30288-2013 卫星导航定位坐标系统
 - [2] SJ/T11419-2010 导航电子地图元数据
 - [3] DB50/T 470-2012 镇（乡）、街道、村（社区）地图编制技术规范
 - [4] GB/T 19392-2013 车载卫星导航设备通用规范
 - [5] JT/T 809-2019 道路运输车辆卫星定位系统平台数据交换
 - [6] JB/T 13696-2019 无人驾驶工业车辆
 - [7] GB/T40429-2021 汽车驾驶自动化分级
 - [8] T/SSMT 3-2020 T/SSNA 3-2020 北斗/GNSS 农机自动导航驾驶系统性能要求及测试方法
 - [9] T/NJ 1225-2021/T/CAAMM 111-2021 拖拉机无人驾驶系统通用技术条件
 - [10] T/NJ 1260-2021/T/CAAMM 126-2021 农林拖拉机和自走式机械驾驶自动化分级
 - [11] Q/BDHLJ 0006-2021 无人驾驶拖拉机作业功能评价技术规范
 - [12] T/NJ 1138-2018 拖拉机 自动辅助驾驶系统通用技术条件
-