

BD

中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 440088.2—2022

农业机械北斗导航无人驾驶 与自主作业系统 第2部分：设备要求

Autonomous driving and operation systems based on BDS for agricultural
machinery —
Part 2: Equipment 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.....	1
4 设备组成与功能.....	3
4.1 组成.....	3
4.2 功能.....	4
5 系统性能.....	5
5.1 一般要求.....	5
5.2 性能要求.....	5
5.3 定位单元.....	6
5.4 传感单元.....	6
5.5 控制单元.....	7
5.6 计算单元.....	8
5.7 通信单元.....	8
5.8 人机交互单元.....	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2部分。BD 440088已经发布以下部分：

——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：潍柴雷沃重工股份有限公司、中国农业大学、华南农业大学、千寻位置网络有限公司。

本文件主要起草人：王 辉、马曰鑫、李晓华、杨丽丽、吴才聪、张智刚、胡 炼、胡冰冰。

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 2 部分：设备要求

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设备的组成、功能及性能等。

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设备（以下简称农机无人作业系统设备）的设计、研制。

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 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）

GB/T 4269.1 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械 操作者操纵机构和其他显示装置用符号 第1部分:通用符号

GB/T 4269.2 农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械操作者操纵机构和其他显示装置用符号 第2部分:农用拖拉机和机械用符号

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 20341 农业拖拉机和自走式机械操作者操纵装置操纵力、操纵方向、操纵位置和方法

GB/T 21398 农林机械 电磁兼容性 试验方法和验收规则

GB/T 39267 北斗卫星导航术语

JB/T 7858 液压件清洁度判定方法及液压件清洁度指标

BD 440088.1 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

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

全球卫星导航系统 **global navigation satellite system; GNSS**

能在全球范围内提供导航服务的卫星导航系统的通称。

3.1.2

环境感知 environmental perception

利用影像技术、传感器技术对农机周边环境进行全方位或特定物体、目标进行检测、甄别、重构的系统。

3.1.3

农机轨迹 agricultural machinery trace

农机在一段时间内连续运行所产生的多个农机位置信息的有序集合。

3.1.4

实时动态测量 real-time kinematic; RTK

GNSS 相对定位技术的一种，主要通过基准站和流动站之间的实时数据链路和载波相对定位快速结算技术，实现高精度动态定位相对技术。

3.1.5

参考作业路径 working reference route

农机无人作业系统根据实际地块规划的可进行作业的路径。

3.1.6

冷启动定位时间 cold start time

用户接收设备在星历、历书、概略时间和概略位置未知的状态下，从开机到正常定位所需的时间。

3.1.7

热启动首次定位时间 hot start time to first fix

用户接收设备在星历、历书、概略时间和概略位置已知的状态下，从开机到正常定位所需的时间。

3.1.8

上线距离 distance of approaching process

在农机作业系统上线过程中，从启动农机无人作业系统到进入稳定工作状态的直线距离。

3.1.9

行间距误差 line distance error

两行真实作业路径间的距离值与规划的两行导航线间的距离值之差。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

GALILEO: 伽利略卫星导航系统 (Galileo Navigation Satellite System)

GLONASS: 格洛纳斯卫星导航系统 (Global Navigation Satellite System)

GPS: 全球定位系统 (Global Positioning System)

PTO: 动力输出 (Power Take Off)

SLAM: 即时定位与地图构建 (Simultaneous Localization and Mapping)

UWB: 超宽带 (Ultra wide Band)

4 设备组成与功能

4.1 组成

农机无人作业系统设备一般由定位单元、传感单元、控制单元、计算单元、通信单元和人机交互单元六部分组成,各研发单位可根据农机设备功能和性能要求进行选择,农机无人作业系统设备组成如图1所示。

- a) 定位单元主要用于精确测量农业机械的空间位置(经度、纬度和高程)、速度和运动方向等,并进行实时动态测量。
- b) 传感单元主要用于对自身状态感知和周围环境感知。
- c) 控制单元泛指无人驾驶作业车辆电控部分,可实现行驶控制(前进、后退、转向、速度和制动)、工作装置控制(如农机PTO、农机机具升降、收获机割台升降、喷雾机喷杆展开升降等)等功能。接收计算单元的指令进行相应动作,并实时反馈工作状态参数。
- d) 计算单元通过获取定位、速度、转向角度、农机轨迹、环境、作业任务和故障等信息,采用决策和规划算法,形成无人驾驶和作业决策指令,控制或干预系统运行。
- e) 通信单元主要实现车辆内部与外部之间通信,实现和整车的信息交互,和平台之间、移动端显示器等设备之间的信息交互。
- f) 人机交互单元主要用于实现农业机械与人的信息交互,比如卫星信号接收情况以及信号质量、行驶速度、作业面积、作业行、报警与提示等。人机交互单元还可以用于进行设备操控,包括机器参数配置、差分信号配置、接行调整、作业路径设置、禁止/暂停/开始导航驾驶切换、手动模式/自动模式切换等。

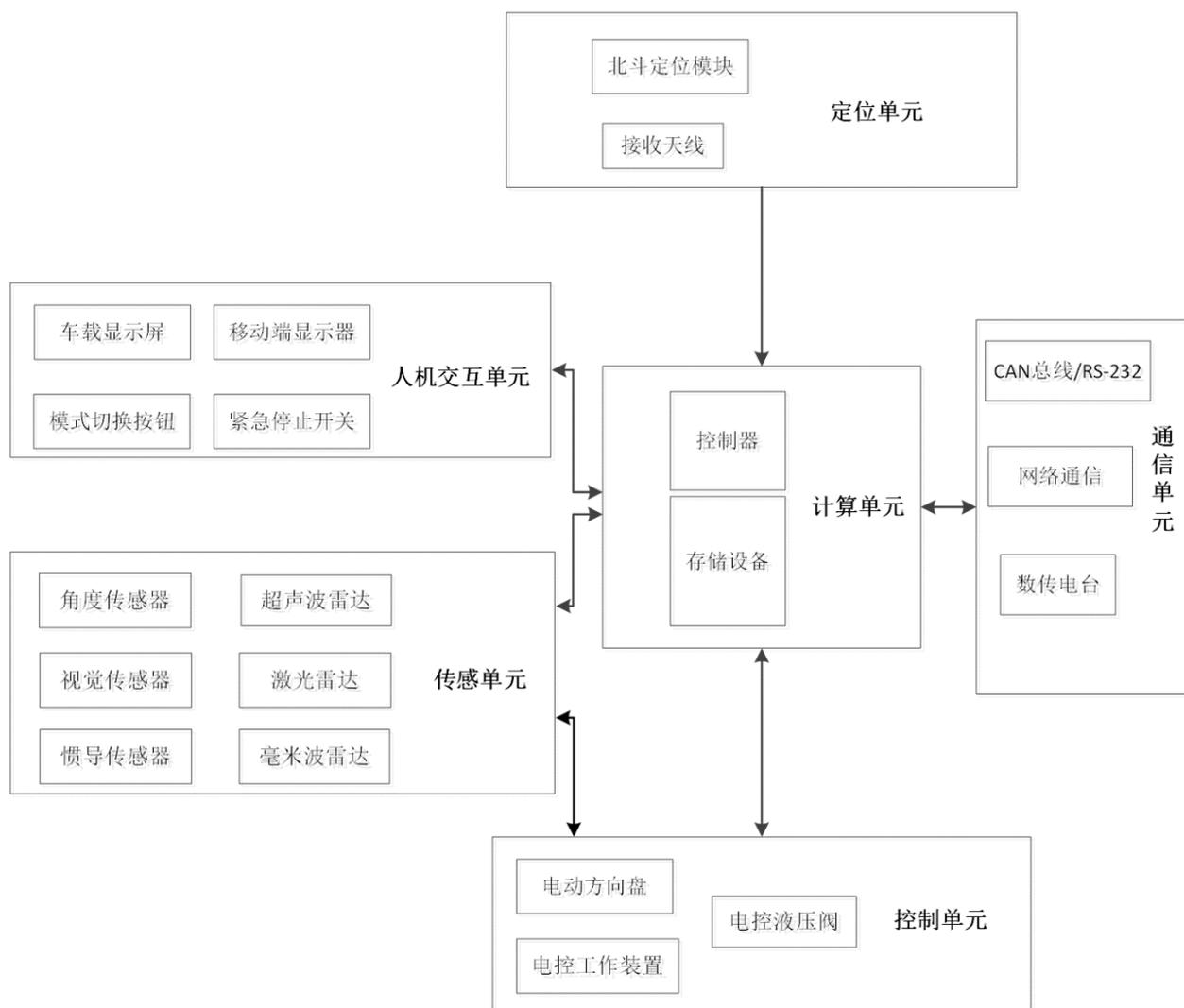


图1 农机无人作业系统设备组成图

4.2 功能

农机无人驾驶系统设备应具备以下功能：

- a) 农机具有完成无人驾驶并实现自主作业的功能；
- b) 设定规划路径，并实时指示农机调整实际作业路径与规划路径偏差的功能，通常具有存储已规划路径的功能；
- c) 控制农机转向系统，使其按照规划路径作业的功能；
- d) 具有系统诊断和系统维护的功能；
- e) 具有校准天线安装偏差、角度传感器的安装角度差、惯导传感器、控制单元等设备的功能；
- f) 具有以图形方式显示农机运行状态、规划的运行路径、速度、航向、横向偏差、航向偏差、导向轮偏转角度信息、接收卫星数量、RTK连接状态、RTK解算状态等信息。

5 系统性能

5.1 一般要求

系统性能一般要求如下：

- a) 无人驾驶系统应具备单独接收北斗定位信号并实现独立定位的能力，提供高精度定位，同时兼容至少GPS、GLONAS、GALILEO等全球卫星导航系统中的一种。
- b) 农机无人作业系统设备操纵标志应耐久、醒目，符合GB/T 4269.1和GB/T 4269.2的规定。
- c) 对操作人员有安全危险隐患的部件应有防护装置，并在其明显位置处粘贴符合GB 10396规定的安全警示标志。
- d) 农机无人作业系统设备一般使用车载电源供电或有独立的电源，供电电压一般为9V~36V。

5.2 性能要求

5.2.1 室外定位

通常采用RTK定位方式，水平定位为精度优于 $(10+1 \times 10^{-6} \times D)$ mm，高程定位优于 $(15+1 \times 10^{-6} \times D)$ mm，其中 D 是基线长度，单位为毫米（mm）。

5.2.2 室内机库定位

室内机库定位可采用UWB或SLAM等方式，定位精度优于10cm（1 δ ）。

5.2.3 导航作业控制

直线作业精度优于2.5cm，地头起落线作业精度优于20cm。

5.2.4 环境感知

按照BD 440088.1规定的农机无人作业系统分级，环境感知要求如下：

- a) 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应大于2倍的最高速度下的自主制动最大距离；
- b) 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应大于1.5倍的最高速度下的自主制动最大距离。

5.2.5 车辆速度控制

车辆速度控制要求如下：

- a) 速度控制精度优于0.5km/h；
- b) 平均制动加速度不小于 2.5m/s^2 。

5.2.6 作业指标

作业指标要求如下：

- a) 抗扰续航时间：农机无人作业系统在稳定工作状态下，断开GNSS卫星信号，保持稳定工作的时间不小于5s；
- b) 上线距离：农机无人作业系统设备启动时，上线距离应不大于10m；
- c) 行间距误差：行间距误差优于5cm。

5.3 定位单元

定位单元要求如下：

- a) 灵敏度优于-130dBm；
- b) 最小位置更新率一般为 1Hz；
- c) 首次定位时间：冷启动首次定位时间优于 60s，热启动首次定位时间优于 20s；
- d) 差分信号丢失或中断后，重新解算并稳定输出定位结果的时间不超过 120s，超过 120s 后能够下发停车指令并报警。

5.4 传感单元

5.4.1 一般要求

传感单元一般要求如下：

- a) 障碍物识别的漏判率不超过 1%；
- b) 环境识别区域：在作业路径上，识别距离大于 10m、角度大于 90° ；
- c) 识别动态障碍物（人、车、动物等）与静态障碍物（电线杆、土堆、沟渠等）。

5.4.2 角度传感器要求

角度传感器要求如下：

- a) 分辨率优于 70° /V；
- b) 线性度绝对值：≤0.5%；
- c) 角度传感器温漂绝对值不大于 0.875%FS/°C。（温度每变化 1°C，输出信号会产生相当于满量程输出的 0.875%的漂移，FS 代表满量程）。

5.4.3 惯导传感器要求

惯导传感器要求如下：

- a) 陀螺仪零偏稳定性优于 4° /h，加速度计零偏稳定性优于 10 μg；
- b) 陀螺仪量程优于 400° /s，加速度计量程优于 6g。

5.4.4 毫米波雷达要求

毫米波雷达要求如下：

- a) 探测距离不小于 40m；
- b) 距离精度优于 0.5m；
- c) 探测角度不小于 45°。

5.4.5 超声波雷达要求

超声波雷达要求如下：

- a) 探测距离不小于 2m；
- b) 探测角度不小于 10°。

5.4.6 视觉传感器要求

视觉传感器要求如下：

- a) 分辨率一般不小于 1280×720；
- b) 视场角一般不小于 30°。

5.4.7 激光雷达要求

激光雷达要求如下：

- a) 探测距离不小于 40m；
- b) 垂直视场角不小于 20°；
- c) 分辨率优于 1°。

5.5 控制单元

5.5.1 一般要求

控制单元一般要求如下：

- a) 在未开启农机无人驾驶系统设备时，转向系统应能正常工作；
- b) 在自动模式下输入指令或在故障排除和维护的手动模式下输入指令时，作业执行控制单元不做应答。

5.5.2 电动方向盘要求

电动方向盘要求如下：

- a) 电动方向盘的设计要求：
 - 1) 电机工作电压应为宽电压，9V~32V (DC)；
 - 2) 输出转矩大于 5N·m；
 - 3) 转速范围一般处于 (0~100) rpm；
 - 4) 转速误差小于 5rpm；
 - 5) 响应延迟小于 0.5s。

- b) 电动方向盘防水、防尘要求应符合 GB/T 4208-2017 标准中的 IP65 等级。
- c) 电动方向盘的安装要求如下：
 - 1) 电动方向盘转子要与原车转向轴同心；
 - 2) 电机固定支架要方便安装且通用性强。
- d) 电机发生故障时，转向系统应能正常使用。
- e) 当电动方向盘以人工强制转动时，当 50°/s 以上的转动角速度转动或转动超过 30° 或人工强制转动超过 1s 时，无人驾驶系统应关闭，切换到驾驶员驾驶状态。

5.5.3 电控液压阀要求

电控液压阀要求如下：

- a) 清洁度符合 JB/T 7858 的规定；
- b) 电控液压阀额定工作流量一般为 8L/min~30L/min；
- c) 电控液压阀内泄漏一般优于 100mL/min；
- d) 电控液压阀最大承受力不小于 25MPa。

5.6 计算单元

5.6.1 一般要求

计算单元一般要求如下：

- a) 控制器应具备欠压、过流保护功能；
- b) 控制器应集成到相应部件里，不需外部元器件辅助，并有完整的外壳封装与保护，防水、防尘性能应符合 GB/T 4208-2017 的规定。

5.6.2 控制器要求

控制器一般要求如下：

- a) 控制器芯片的频率不小于 400MHz；
- b) 控制器额定功率：不大于 25W；
- c) 通信接口要求：不少于 2 路 CAN、不少于 6 路串口。

5.6.3 存储设备要求

存储能力大于 5MB。

5.7 通信单元

5.7.1 CAN总线要求

CAN总线要求如下：

- a) CAN总线的数据传输速度一般不小于 250k/s；

- b) CAN总线要具备良好的抗干扰性，抗干扰能力应符合GB/T 21398的规定。

5.7.2 RS-232要求

能够灵活的适应不同速率的设备，可支持115200bps、38400bps、19200bps、9600bps、4800bps等波特率。

5.7.3 数传电台要求

数传电台要求包括：

- a) 数传电台的通信频段410 MHz ~470MHz；
- b) 应兼容行业多种数据传输协议：支持TRIMATLK、TRIMMARK3、PCC EOT等传输协议。

5.7.4 接口要求

接口要求如下：

- a) 连接紧固性要求：接口应采取必要的安装紧固件设计手段，防止接口连接的偶然脱落，如振动与冲击设计，可动部件应可灵活安装和拆卸。
- b) 防护要求：
 - 1) 接口应该有一定的防护；
 - 2) 应能防误插使用；
 - 3) 应考虑快速连接卡口的接口方式，以方便维护与使用。
- c) 互换性要求：电气特性相同的接口，使用相同连接器时一般应保证其外形、连接、装配上完全互换。
- d) 数据可靠性要求：选取设备间通信接口时应该选择信号具有抗干扰特性的总线类型，在物理层确保数据传输时信息的完整准确。数据传输过程应该通过总线自身校验机制，或在数据链路层增加校验机制，对数据的准确性进行校验。

5.8 人机交互单元

5.8.1 一般要求

人机交互单元一般要求如下：

- a) 农机无人驾驶系统一般应具有模式切换按钮，用以切换人工/无人驾驶模式，可以集成在车载显示器或移动端显示器内，也可以使用物理按键；
- b) 农机无人驾驶系统一般应具有紧急停止开关，可以使用物理按键，也可以使用车辆设备，如刹车踏板等；
- c) 农机无人驾驶系统所有人机交互装置不应导致误触发且应该具有故障自检反馈信号。

5.8.2 显示器要求

显示器要求如下：

- a) 车载显示器、移动端显示器背光亮度一般大于 $500\text{cd}/\text{m}^2$ ；
 - b) 车载显示器一般安装在便于驾驶员操作的位置，并且不干扰操作者操作机器，技术指标应符合 GB/T 20341 的要求，显示应清晰准确，信号报警系统和电气照明及其开关的工作应可靠。当差分信接受失败时，显示屏能进行声光报警。
-