

团 体 标 准

T/CAAMM 407—2026

小麦生产无人化精量播种机械化作业 技术规范

Technical specification for mechanized operation of unmanned precision seeding
for wheat production

（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 作业准备.....2

5 系统设置与标定.....3

6 作业技术规程.....4

7 安全要求..... 5

8 作业质量..... 5

9 保养和存放..... 6

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：中国农业机械化科学研究院集团有限公司、江苏大学、农业农村部南京农业机械化研究所。

本文件主要起草人：白圣贺、杨紫奥、张银桥、苑严伟、牛康、丁世宏、周利明、赵博、隗立昂、高原源、郑元坤、余山山、安然、张巍朋、王宁、肖竞维。

本文件为首次发布。

小麦生产无人化精量播种机械化作业技术规范

1 范围

本文件规定了小麦生产无人化精量播种机械化作业的术语和定义、作业准备、系统设置与标定、作业技术规程、安全要求、作业质量以及保养和存放。

本文件适用于小麦生产中采用无人化精量播种装备（以下简称“装备”）开展的精量播种作业；装备具备施肥功能或与加种装备协同作业时，相应的施肥和自动补给要求也适用。

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 4404.1 粮食作物种子 第1部分：禾谷类

GB/T 9478 谷物条播机 试验方法

GB 10395.9 农林机械 安全 第9部分：播种机械

GB/T 15671 农作物薄膜包衣种子技术条件

GB/T 20865 免（少）耕施肥播种机

GB/T 35383 播种监测系统

GB/T 35487 变量施肥播种机控制系统

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

NY/T 739 谷物播种机械 作业质量

NY/T 1143 播种机 质量评价技术规范

NY/T 3891 小麦全程机械化生产技术规范

NY/T 3892 农机作业远程监测管理平台数据交换技术规范

NY/T 4613 农机作业北斗监测终端技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无人化精量播种作业 unmanned precision seeding operation

在规定作业区域和作业条件内，经授权启动后，作业人员无需在驾驶位置连续操纵，由装备按规划路径自动完成行驶、转向、机具升降、播种量控制和作业状态监测，异常时由装备按预设策略停车、报警，必要时由人员远程或现场接管的小麦精量播种作业。

3.2

无人化精量播种装备 unmanned precision seeding equipment

由具备行驶、转向和制动自动控制功能的动力平台、播种机具，以及定位导航、路径跟踪、精量播种控制、作业监测、通信和安全保护等系统组成的作业系统。配套排肥装置或自动补给装备时，还包括排肥控制、补给装备和协同调度系统。

3.3

精量播种控制系统 precision seeding control system

根据目标单位面积播种量、作业速度和排种量标定结果，实时调节排种器工作转速或其驱动装置输出，使实际单位面积播种量控制在规定误差范围内，并对播种量、漏播和堵塞等排种状态进行监测和报警的控制系统。

3.4

速度源自动切换 speed source auto-switching

控制系统根据装备实时作业速度及信号质量，在卫星定位测速、地轮编码器测速或雷达测速等信号源之间自动切换，并保持速度信息连续、稳定输出的控制策略。

3.5

作业路径规划 operation path planning

根据作业地块的边界、形状及小麦播种农艺要求，自动生成或经人工调整形成地块全覆盖行驶路线，包括直线作业段、地头转弯路径及进出地块路径的过程。

3.6

作业边界 operation boundary

用于限定无人化作业区域的地块边界、地头转弯区域边界、禁入区边界及安全缓冲区边界等空间范围。

3.7

断点续播 breakpoint resume seeding

装备因缺种、故障、避障或人工接管等原因中断播种后，记录中断位置，并在恢复作业时从断点或经确认的位置继续播种的功能。

3.8

远程接管 remote takeover

远程监控人员通过通信链路对装备行驶、作业或急停等功能进行人工干预和控制的的操作。

3.9

失联保护 communication-loss protection

装备与机载终端、遥控器或远程监控平台之间的通信中断，或定位状态不满足作业要求时，按预设策略自动停车暂停作业或进入安全状态的保护功能。

3.10

漏播 missed seeding

播种作业过程中，目标播种区域内未按要求排出种子或连续排种中断的现象。

3.11

重播 repeated seeding

装备因作业路径重叠、重复进入已播区域或断点续播位置设置不当，在已记录完成播种的区域再次排种的异常作业状态。

4 作业准备

4.1 人员要求

4.1.1 现场操作人员应经过专业技术培训并持证或经授权上岗，熟悉小麦播期、播量、播深、行距和施肥量等农艺要求，熟练掌握装备的结构性能、机载控制操作、自主导航系统使用及应急处置方法，并按要求定期复训。

4.1.2 远程监控人员应熟悉远程监控平台的操作，能够实时判读作业数据并下达指令。

4.2 地块与种子

4.2.1 作业地块应平整，地表无深沟、大石块等影响自动驾驶安全和播种机具通过性的障碍物；固定障碍物及禁入区域应在作业边界图中准确标识。

4.2.2 作业区域应具备稳定的 RTK 差分高精度卫星定位信号与移动通信网络信号，满足高精度定位和数据远程传输的需求。

4.2.3 小麦种子质量应符合 GB 4404.1 的规定，并经过清选；使用薄膜包衣种子时，应符合 GB/T 15671 的规定。种子品种、纯度、净度和发芽率等应满足当地农艺要求。

4.2.4 播种时土壤绝对含水率宜为 16%~24%，地表应平整、土壤细碎、无积水，耕层状态应满足当地小麦播种农艺要求；超出适宜范围时，应通过试播确认机具通过性和播种质量，按 NY/T 739 进行作业质量符合性评价。

4.3 机具要求

4.3.1 检查机械部件，连接应紧固，转动部件应灵活无卡滞，轮胎气压正常；检查种箱和肥箱，箱内应清洁、干燥、无杂物。播种机具的安全防护应符合 GB 10395.9 的规定；采用免（少）耕施肥播种机时，其技术状态应符合 GB/T 20865 的规定。

4.3.2 检查自主导航系统，导航天线、姿态传感器、控制器等应安装牢固，线路连接正确无松动；系统功能应符合 GB/T 46270 的相关规定。

4.3.3 检查精量播种控制系统，排种器及其驱动装置、排肥器及其驱动装置、速度传感器、种子流量传感器和转速传感器应处于正常状态。播种监测系统应符合 GB/T 35383 的相关规定。

4.3.4 检查远程监控平台、机载终端与装备间的数据链路和遥控链路，确保链路连接正常；设置通信中断、定位异常等情况下自动减速停车、停止作业并报警的保护阈值和处置策略。

5 系统设置与标定

5.1 机具挂接与水平调整

5.1.1 播种机具与动力平台挂接后，应调整悬挂杆件，确保机具在作业状态下横向和纵向均处于水平状态。

5.1.2 分别调整左、右两侧限深轮或镇压辊高度，确保机架水平且开沟器入土深度一致，为自动控制

系统提供准确的机械水平基准。

5.2 系统自检

启动装备和机载终端，控制系统应自动进行自检，并确认定位导航、自动转向、制动、机具升降、播种控制、作业监测、障碍物感知、通信和急停等功能正常。

5.3 参数设置

机载终端应根据小麦品种、当地农艺要求及机具配置设置参数，包括但不限于：

- a) 设备参数：工作幅宽、作业行数、排种器数量、排肥器数量；
- b) 标定参数：地轮旋转半径、单圈排种量、单圈排肥量；
- c) 作业参数：小麦目标播量 (kg/hm^2)、目标施肥量 (kg/hm^2)、播种深度、行距和作业速度上限；
- d) 控制参数：机具起降判断阈值、速度源自动切换阈值、漏播和堵塞报警阈值、种箱料位报警及自动补给触发阈值。

5.4 排种量与排肥量标定

正式作业前，应通过机载终端的标定程序进行排种量标定；具备施肥功能的装备还应进行排肥量标定。采用免（少）耕施肥播种机时，标定应符合GB/T 20865的相关规定。标定步骤如下：

- a) 在排种口和排肥口下方分别放置接料容器；
- b) 通过机载终端启动标定程序，控制系统应按设定转速或圈数自动驱动排种器和排肥器运行；
- c) 分别称量排出的种子和肥料质量，并通过机载终端将称量结果输入控制系统；
- d) 排种量和排肥量均应重复标定3次以上，控制系统应自动计算平均值、更新单圈排种量和单圈排肥量等控制参数，并在机载终端显示和保存标定结果。

5.5 作业路径规划

5.5.1 采用RTK打点设备或人工低速驾驶机具，完整采集作业边界和地头转弯区域轮廓信息。

5.5.2 在机载终端或远程监控平台进行作业路径规划，自动生成或经人工调整作业行线、地头转弯线和进出地块路线。

5.5.3 复杂地形或不规则田块应预留人工接管点，设置安全缓冲区，并在机载终端或远程监控平台中标识。

6 作业技术规程

6.1 试播作业

6.1.1 在正式作业前，应选择代表性区域进行试播，试播长度不应小于30 m。

6.1.2 试播结束后，现场操作人员应在装备停机并确认安全后下车，抽检小麦播种深度、覆土厚度、镇压质量和种子分布，核对机载终端显示的单位面积播种量与实际情况；施肥作业还应检查排肥状态并核对施肥量。

6.1.3 若检查结果不符合第8章的作业质量要求，应重新调整机械参数或系统参数（如标定系数），直至达标。

6.1.4 试播检测应按GB/T 9478和NY/T 739的相关方法进行，抽样点不应少于3个；每个抽样点宜连续测定不少于1 m作业长度内的播种深度、种子分布、覆土和镇压质量，并按第8章、NY/T 3891及当地小麦农艺要求进行合格判定。

6.2 作业启动

6.2.1 将装备行驶至地块作业起始点，加载规划好的作业路径。

6.2.2 确认种箱和肥箱料位满足作业需求；配套自动加种装备时，应确认其处于可调度状态；作业区域及安全缓冲区内应无人员逗留。

6.2.3 开启自动作业模式，装备应自动对准行线，确认对行后开始行驶，并在作业过程中保持行线跟踪。

6.3 无人化精量播种

6.3.1 装备进入作业起点前，控制系统应根据播种机具升降状态、GNSS位置信息、姿态传感器数据和系统响应延时设置排种提前量和排肥提前量。到达作业起点并确认机具落位后，应及时启动排种器和排肥器，避免起步漏播或漏施。

6.3.2 作业过程中，精量播种控制系统应实时获取作业速度、种子流量和作业状态信息，按速度源自动切换策略保持速度信息输入稳定，并动态调节排种器工作转速或其驱动装置输出，使单位面积播种量与目标播种量实时匹配；排肥器工作转速或其驱动装置输出应与作业速度同步调节。

6.3.3 到达地头转弯处，装备应自动控制播种机具提升并停止排种和施肥；完成转向及对行后，应自动控制机具下降并恢复排种和排肥。

6.3.4 在地头、短行、不规则边界、障碍物邻近区域或定位信号易受遮挡区域等特殊场景，装备应按预设路径和安全策略自动减速、停排、转向或停车；不能保证安全或作业质量时，应暂停自动作业并向机载终端和远程监控平台报警。

6.4 实时监控

6.4.1 机载终端应实时显示作业速度、单位面积播种量、施肥量、作业面积、作业轨迹、机具升降状态、排种器及其驱动装置状态、排肥器及其驱动装置状态、种箱和肥箱料位、RTK定位状态、断点续播状态以及堵塞、漏播和重播风险等报警信息。

6.4.2 作业数据应上传至远程监控平台，其采集、存储和传输应符合GB/T 46268及NY/T 3892的相关规定，终端数据传输性能应符合NY/T 4613的规定。上传数据应包括任务标识、开始和结束时间、作业轨迹、作业速度、播种量、施肥量、作业面积、机具状态、排肥状态、自动补给状态、报警及接管记录和定位状态。

6.4.3 作业数据应具备保存、导出和追溯功能，便于作业质量核查和故障分析。

6.5 异常处理

6.5.1 当障碍物进入预设减速区时，装备应自动减速；进入预设停车区时，应自动停车或按规划路径绕障，并发出声光报警，向机载终端和远程监控平台发送报警信息。

6.5.2 发生堵塞、漏播或排肥异常时，监测系统应发出声光报警，并向机载终端和远程监控平台发送故障位置及状态信息；装备应自动停止排种器和排肥器，并减速停车。现场操作人员确认装备停稳且动力切断后方可处置。

- 6.5.3 种箱料位达到触发阈值后，装备应发送补给请求并记录播种断点；播种装备与加种装备应按调度信息驶入预定补给区，完成相对位置确认、自动对接和定量加种。补给完成并经系统确认后，应按断点续播要求恢复作业，避免漏播和重播；自动对接或补给失败时，应保持停车状态并报警，转由人工处置。
- 6.5.4 作业中出现无法自动恢复的故障时，装备应自动停车、停止排种和排肥并报警；经授权实施人工接管或远程接管后，方可将装备移至安全区域检修。

6.6 作业结束

作业完成后，应清空种箱和肥箱剩余物料，关闭控制系统电源，将装备停放至指定位置，并完成作业数据上传和保存。

7 安全要求

- 7.1 装备应具备多重急停功能，包括机载终端软件急停、车身物理急停、远程监控平台或遥控急停；急停功能应优先于其他所有控制指令。
- 7.2 装备自动作业启动前应经过现场操作人员或远程监控人员授权确认；人工接管、远程接管和自动控制的优先级应明确，其中急停指令具有最高优先级。
- 7.3 通信中断时，装备应触发失联保护；定位状态不满足作业要求、路径跟踪偏差超限，或转向、制动、障碍物感知系统异常时，装备应按设定策略自动减速停车、停止排种和排肥并报警。异常解除后，不应未经授权自动恢复作业。
- 7.4 无人作业地块四周、出入口、田间主干道交叉位置及自动补给区域应设置明显的反光警示标牌；必要时设置隔离围挡。标牌宜标注“农机无人作业，禁止人员进入”等警示内容。
- 7.5 装备在非作业状态下转移地块或上路行驶时，应由人工接管或驾驶，并遵守道路交通安全法规。
- 7.6 自动作业期间，人员、车辆或动物进入安全缓冲区，或障碍物感知系统出现异常时，装备应自动减速或停车并报警；风险未解除且未经授权确认，不应恢复自动作业。

8 作业质量

在第4章规定的地块、土壤、种子、定位和通信条件满足要求，且作业速度不超过标定上限时，小麦生产无人化精量播种作业质量应符合表1的规定。

表1 作业质量指标

序号	项目	试验方法	指标
1	播种量控制误差，%	GB/T 35487	≤5
2	各行排量一致性变异系数，%	NY/T 1143-2025	≤3.9
3	总排量稳定性变异系数，%	NY/T 1143-2025	≤1.3
4	播种深度合格率，%	GB/T 9478	≥75
5	种子破损率，%	GB/T 9478	≤1.5
6	断条率，%	NY/T 739	≤2

7	总施肥量偏差率，%	GB/T 9478	±3
8	直线路径跟踪横向误差，cm	GB/T 46270	≤5
9	播种量监测误差率，%	GB/T 35383	≤5
10	漏播监测误差，%	NY/T 4613	≤2
11	种子堵塞报警误差率，%	GB/T 35383	≤5

注：断条率适用于小麦条播作业。

9 保养和存放

- 9.1 每日作业结束后，应清除机具各部位泥土、杂草，重点清理排种器、排肥器及开沟器。
- 9.2 检查传感器、导航天线、控制器等电控系统元器件的连接线束，防止磨损、松动或被啮齿类动物咬断。
- 9.3 作业机具长期存放时应置于封闭库房，库房应具备通风、防潮、防雨、避光、防鼠条件；机具宜垫高存放，离地高度不低于10 cm。
- 9.4 长期存放前，应完成全部线束、传感器外观复检，断开蓄电池负极，并对电控系统元器件采取防潮措施；对各润滑点注足润滑油。存放期间宜每30 d巡检一次电控防潮状态与蓄电池电量，定期补电保养，防止亏电损坏电控系统元器件。
-