

# 团 体 标 准

T/CAMA 135—2025

## 农用无人驾驶航空器运输系统

The agricultural unmanned aircraft transportation system

2025 - 11 - 27 发布

2026 - 01 - 01 实施

## 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》的规定起草。

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化协会提出并归口。

本文件起草单位：广州极飞科技股份有限公司、农业农村部南京农业机械化研究所、广东省通讯终端产品质量监督检验中心、南京南机智农农机科技研究院有限公司。

本文件主要起草人：麦浩锋、李月霞、顾伟、赵智博、贺冠鹏、林俊。

本文件是首次制定。

# 农用无人驾驶航空器运输系统

## 1 范围

本文件规定了农用无人驾驶航空器运输系统（以下简称“运输系统”）的技术要求、试验方法、检验规则、铭牌、包装、运输和贮存。

本文件适用于通过吊运或舱运方式进行农林牧渔运输作业的多旋翼农用无人驾驶航空器运输系统，农用无人驾驶航空器应满足无人驾驶航空器飞行管理暂行条例中的定义。

## 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 191 包装储运图示标志

GB/T 2423.18 环境试验 第2部分：试验方法 试验Kb：盐雾，交变（氯化钠溶液）

GB/T 4208 外壳防护等级（IP代码）

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

NY/T 3213—2023 植保无人驾驶航空器 质量评价技术规范

## 3 术语和定义

NY/T 3213界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**农用无人驾驶航空器运输系统** the agricultural unmanned aircraft transportation system

由农用无人驾驶航空器机身平台、吊运系统或舱运系统、地面控制端及配套软件组成的运输作业系统，吊运系统主要包括：脚架、智能挂钩、绳索等，舱运系统主要包括：舱运结构框、开合门板等。

### 3.2

**智能挂钩** smart hook

能在吊运的货物触地后远程控制或手动安全开钩，并能实时反馈挂钩状态的设备。

### 3.3

**飞行控制系统** flight control system

对农用无人驾驶航空器的航迹、姿态、速度等参数进行单项或多项控制的系统。

### 3.4

**地面控制端** ground control terminal

由中央处理器、通讯系统、监测显示系统、遥控系统等组成，对接收到的农用无人驾驶航空器的各种参数进行分析处理，并能对农用无人驾驶航空器的航迹进行修改和操控的系统。

### 3.5

**作业模式** application mode

农用无人驾驶航空器运输系统进行作业所采取的飞行控制方式，分为手动控制模式和自主控制模式两种。

### 3.6

**手动控制模式** manual control mode

通过人工操作遥控器控制飞行航迹和作业任务等的控制模式。

### 3.7

**自动控制模式** autonomous control mode

根据预先设定的飞行参数和航线等进行作业的控制模式。

## 4 技术要求

### 4.1 整机要求

#### 4.1.1 自动化运输

运输系统应具备自动化运输功能，能自动飞往设定的目标点。

#### 4.1.2 飞行稳定性

在制造商明示的最大载重、规定绳长、货物体积、规定风速内，达到制造商明示最大飞行速度后刹停进入悬停状态，货物摆动幅角（如图 1 所示，指货物与地面垂直方向的夹角）应 $\leq 30^\circ$ ，且在悬停后收窄至摆动幅角 $\leq 5^\circ$ 的摆动次数应小于 4 次（来回摆动为一次）。

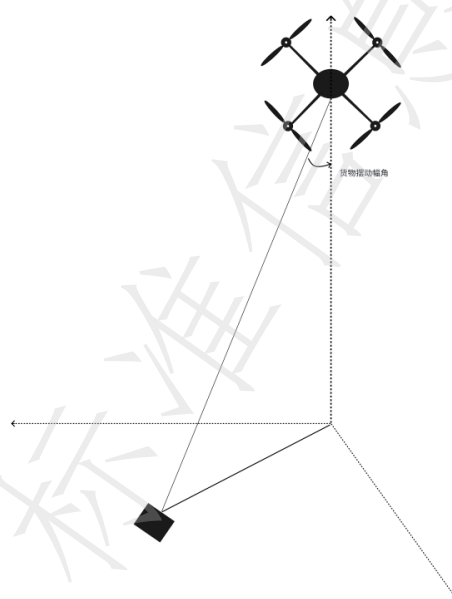


图1 货物摆动幅角示意图

#### 4.1.3 抗风性

在制造商明示的最大载重、规定绳长、货物体积、最大平飞速度下，运输系统应具备在不大于 5.4 m/s 的持续风、阵风环境下保证安全飞行的能力。

#### 4.1.4 感知避障能力

运输系统应支持整体避障，包括无人驾驶航空器运输系统与货物，应支持绕障或悬停的避障方式。

#### 4.1.5 图像传输能力

在制造商明示的运行条件和最大飞行距离内，应提供稳定的图传能力。

#### 4.1.6 地面控制端能力

在制造商明示的运行条件和最大飞行距离内，应支持稳定的数据传输，且具备随时查看运输系统状态以及控制运输系统的能力。

#### 4.1.7 飞行信息存储能力

运输系统应配备飞行信息存储系统,实时记录并保存飞行作业信息。信息至少应包括:农用无人驾驶航空器的位置、海拔、速度信息,以及制造商、产品型号、产品编号信息。

#### 4.1.8 远程通信能力

运输系统应具备远程通信能力,发送飞行作业信息至远程管理系统。信息至少应包括:农用无人驾驶航空器的位置、海拔、速度信息,以及操控员身份、制造商、产品型号、产品编号信息。

## 4.2 吊运系统功能要求

### 4.2.1 挂钩通讯能力

智能挂钩应具备与飞行控制系统进行通讯的能力。

### 4.2.2 货物投放控制

手动操控运输系统下降至合适的飞行高度,并通过地面端发送指令打开智能挂钩的保险结构,当货物触地,货物对载重挂钩的拉力逐渐减小,载重挂钩应自动打开,实现卸货。

### 4.2.3 脱困能力

运输系统应具备脱困能力,在发生被困情况时,应能按操控员下发的脱困指令执行脱困动作。

### 4.2.4 挂钩状态识别

智能挂钩应能回传其姿态、开合状态、电量等信息到农用无人驾驶航空器端和地面控制端。

## 4.3 安全要求

4.3.1 运输系统的机身平台和载荷系统应连接可靠,非刚性连接处应有锁止防脱结构,保证飞行过程的结构稳定性。

4.3.2 智能挂钩内应有保险结构,可锁止载重挂钩,防止意外情况导致货物脱出载重挂钩而掉落。

4.3.3 运输系统的地理围栏应符合 NY/T 3213—2023 中 6.3.5 的要求。

4.3.4 运输系统的电磁兼容性应符合 NY/T 3213—2023 中 6.3.8 的要求。

4.3.5 运输系统吊运的货物不应超过制造商明示最大载重,应具备识别货物超载的功能,当超载时应报警提示并自动执行安全保护动作。

4.3.6 运输系统对通讯链路中断、电量不足、全球导航卫星系统信号丢失等异常情形应具有报警和失效保护功能。

4.3.7 当运输系统的机身平台发生大角度(大于 60°)倾翻时,应具备降低风险的应急操作,如应具备使桨叶立即停止转动的能力。

4.3.8 对操作者有危险的部位,应有固定的安全标识,安全标识应符合 GB 10396 的规定。

## 4.4 装配和外观质量

4.4.1 产品装配应牢固可靠,容易松脱的零部件应装有防松装置。

4.4.2 产品外观应整洁,不应有毛刺和明显的伤痕、变形等缺陷。

## 4.5 环境适应性

### 4.5.1 恒定湿热

运输系统(除地面控制端)在 55 °C±2 °C、相对湿度(95%±2%)的环境下静置 48 h 后,应能正常工作。

### 4.5.2 耐腐蚀

运输系统(除地面控制端)应具备耐腐蚀能力,应能承受试验温度为 35 °C±2 °C,试验时间为 72 h,盐水浓度 5% 的盐雾试验,常温恢复后应能正常运行。

### 4.5.3 防护等级

运输系统(除地面控制端)的防水性能应不低于 GB/T 4208 规定的防水等级 IPX5,防水性能试验后,运输系统应能正常工作。

## 4.6 可靠性

运输系统平均故障间隔时间(MTBF)应不小于 80 h。

## 5 试验方法

### 5.1 整机试验

#### 5.1.1 试验条件

按产品使用说明安装运输系统,采用制造商明示的最大载重、规定绳长、规定的货物体积、规定风速进行试验。在试验前、中、后分别测定温度、湿度、大气压力、海拔、风速等气象条件。

#### 5.1.2 自动化运输试验

运输系统搭载制造商明示的最大载重货物,确定目标点,设置为自动控制模式运行,观察运输系统能否自动飞往目标点,飞行姿态是否平滑,是否出现偏飞、掉高或坠落等失控现象。

#### 5.1.3 飞行稳定性试验

操控运输系统达到制造商明示的最大飞行速度,刹停进入悬停状态,以不大于 0.1 s 的时间间隔对货物摆动幅角进行连续测量和记录,试验重复 3 次,计算在货物收窄至 5° 以内的摆动次数(一个来回的摆动为一次)。

#### 5.1.4 抗风性试验

操控运输系统达到制造商明示的最大飞行速度,置于 3 级自然风或人工模拟风场中,手动操控其起飞、前飞、后飞、侧飞、转向、悬停、着陆,观察其是否正常工作。

#### 5.1.5 感知避障能力试验

操控运输系统进行自动控制模式作业,以 12 m 的飞行高度,制造商明示的最大作业速度飞向制造商明示尺寸、材质的障碍物,目测是否能自动避免与障碍物碰撞。操作运输系统离开障碍物,目测是否重新可控。

#### 5.1.6 图像传输能力试验

运输系统搭载制造商明示最大载重的货物,在制造商明示的最大链路通信距离下,操控运输系统悬停,观察地面控制端的图传画面是否清晰、流畅。

#### 5.1.7 地面控制端能力试验

运输系统搭载制造商明示最大载重的货物,在制造商明示的最大链路通信距离下,通过地面控制端查看农用无人驾驶航空器状态参数显示是否正常,操控农用无人驾驶航空器进行前飞、后飞、侧飞、转向、悬停、着陆,观察其是否正常工作。

#### 5.1.8 飞行信息存储能力试验

操控运输系统在测量场地内模拟运输作业 5 min 以上。待返航着陆后,检查其是否将本次飞行数据进行了加密存储。读取本次飞行作业过程的记录数据。检查加密存储数据内容是否包括本次飞行的位置、海拔、速度信息,是否包括制造商、产品型号、产品编号信息。

#### 5.1.9 远程通信能力试验

按 5.1.8 试验结束后,检查远程监管系统中是否有本次飞行的位置、海拔、速度信息和操控员信息,是否包括制造商、产品型号、产品编号信息。

### 5.2 吊运系统功能试验

#### 5.2.1 挂钩通讯能力试验

使无人驾驶航空器平台和智能挂钩的距离为制造商明示的最大通讯距离,按使用说明书的要求进行连接,查看是否能连接成功;连接成功后,通过无人驾驶航空器飞控系统发送打开挂钩的指令,查看智能挂钩能否按指令操作。

#### 5.2.2 货物投放控制试验

吊运系统搭载制造商明示的最大载重货物,手动操作运输系统飞至指定区域投放货物,观察能否正常投放。

### 5.2.3 脱困能力试验

在地面设置固定的、直径为 10 mm 的刚体横杆,使运输系统的智能挂钩勾住横杆,绳长设置为 10 m,操控农用无人驾驶航空器起飞至 8 m 高度,操控员下发脱困指令,观察运输系统能否执行设定的脱困措施并安全飞离。

### 5.2.4 挂钩状态识别试验

按说明书连接智能挂钩与飞控系统,手动操作挂钩进行开合,查看地面控制端是否正确显示挂钩连接状态、开合状态、电量等信息。

## 5.3 安全要求试验

### 5.3.1 安全装置检查

5.3.1.1 检查运输系统的机身平台和载荷系统的非刚性连接处是否有锁止防脱结构,手动操作验证锁止结构能否正常使用。

5.3.1.2 检查智能挂钩是否具备保险结构,手动操作验证保险结构能否正常使用。

### 5.3.2 地理围栏试验

按NY/T 3213—2023中7.4.5的规定。

### 5.3.3 电磁兼容试验

按NY/T 3213—2023中7.4.8的规定。

### 5.3.4 超载试验

运输系统搭载制造商明示的最大载重货物,查看运输系统能否正常离地飞行;增加货物重量至超载,操控运输系统起飞,查看交互设备上是否有出现报警提示,以及运输系统能否自动执行安全保护动作。

### 5.3.5 报警和失效保护功能试验

#### 5.3.5.1 链路中断的失效保护试验

正常飞行状态下,操控运输系统持续飞行,过程中适时中断通讯链路,目测其是否悬停、自动返航或自动着陆。

#### 5.3.5.2 低电量失效保护试验

正常飞行状态下,操控运输系统持续飞行,目测其电池电量过低时,是否具有制造商声明的失效保护功能。

#### 5.3.5.3 失效报警功能检查

目测检查运输系统在触发失效保护时,是否具备报警提示。

### 5.3.6 倾侧试验

拆掉螺旋桨,使运输系统的机身平台发生大于60°倾侧,机身平台的电机应停转。

### 5.3.7 安全标识检查

目视检查运输系统对操作者有危害的部位是否有永久性安全标识。

## 5.4 装备质量和外观检查

目测检查是否符合4.4的要求。

## 5.5 环境适应性试验

### 5.5.1 恒定湿热试验

将运输系统（除地面控制端）放置在温度 $55\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $(95\%\pm 2\%)$ 环境下静置48 h取出，在室温下再静置1 h，按使用说明书的规定进行运输作业，观察其是否能正常工作。

### 5.5.2 耐腐蚀试验

按GB/T 2423.18的要求，将运输系统（除地面控制端）放置在温度为 $35\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、盐水浓度5%的盐雾试验箱内，静置72 h后取出，产品外观应满足4.4.2的要求，按使用说明书的规定进行运输作业，观察其是否能正常工作。

### 5.5.3 防水等级试验

按照GB/T 4208的IPX5防水试验方法对运输系统（除地面控制端）进行试验。试验时，运输系统应处于通电状态，试验结束后，静置30 min，按使用说明书的规定进行运输作业，观察其是否能正常工作。

## 5.6 可靠性试验

### 5.6.1 故障类型

如有以下情形之一的，则判定为功能性故障：

- a) 由于设计缺陷或制造工艺不良造成的故障；
- b) 由于元器件潜在缺陷致使元器件失效而造成的故障；
- c) 间歇故障；
- d) 由于软件引起的故障；
- e) 超出规范正常范围的调整；
- f) 试验期间所有非从属性故障原因引起的故障征兆（未超出性能极限）而引起的更换；
- g) 无法证实原因的异常。

使用故障的判定准则如下：

- a) 误操作引起的故障；
- b) 试验设施及测试仪表故障引起的故障；
- c) 超出设备工作极限的环境条件和工作条件引起的受试产品故障；
- d) 修复过程中引入的故障；
- e) 将有寿命器件超期使用，使得该器件产生故障及其引发的从属故障。

### 5.6.2 平均故障间隔时间（MTBF）

采用实际飞行或等效的典型工况条件下的飞行试验，记录运输系统发生功能性故障的次数，按以下公式（1）计算平均故障间隔时间(MTBF)：

$$T_{MTBF} = \frac{2T_f}{\chi^2(\alpha, 2r + 2)} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$T_{MTBF}$  ——平均故障间隔时间,单位为小时 (h)；

$T_f$  ——累积飞行时间,单位为小时 (h)；

$r$  ——累积功能故障数；

$\alpha$  ——显著性水平，除另有规定外，一般取 0.2。

## 6 检验规则

### 6.1 检验分类

检验分出厂检验和型式检验。

## 6.2 出厂检验

产品需经过测试和检验合格后出厂，具体检验项目见表1。

## 6.3 型式检验

型式检验项目见表1。出现下列情况之一应进行型式检验：

- a) 新产品定型鉴定或产品转厂生产；
- b) 正式生产后，如结构、工艺、材料有较大的改变，可能影响产品性能时；
- c) 出厂检验结果与上次型式试验有较大差异时；
- d) 产品长期停产后，恢复生产时；
- e) 国家质量监督机构提出型式检验要求时。

## 6.4 检验项目

运输系统具体检验项目见表1。

表1 检验项目表

序号	试验项目	出厂检验	型式试验
1	整机要求	自动化运输试验	●
		飞行稳定性试验	●
		抗风性试验	●
		感知避障能力试验	●
		图像传输能力试验	●
		地面控制端能力试验	●
		飞行信息存储能力试验	●
		远程通信能力试验	●
2	吊运系统功能要求	挂钩通讯能力试验	●
		货物投放控制试验	●
		脱困能力试验	●
		挂钩状态识别试验	●
3	安全要求	安全装置检查	●
		地理围栏试验	●
		电磁兼容试验	●
		超载试验	●
		报警和失效保护功能试验	●
		倾侧试验	●
		安全标识检查	●
4	装配和外观质量	/	●

表1 检验项目表（续）

序号	试验项目		出厂检验	型式试验
5	环境适应性	恒定湿热试验		•
		耐腐蚀试验		•
		防水等级试验		•
6	可靠性	/		•

## 6.5 判断原则

6.5.1 按出厂检验要求检验合格后方可出厂。

6.5.2 型式检验时有不合格项目时，即为不合格。

## 7 铭牌、包装、运输和贮存

### 7.1 铭牌

在运输系统醒目位置应有永久性铭牌。铭牌内容应清晰可见，至少应包括以下内容：

- a) 产品型号和名称；
- b) 最大载重等主要技术参数；
- c) 产品执行标准；
- d) 生产日期和出厂编号；
- e) 商标或品牌。

### 7.2 包装

7.2.1 运输系统应采用专业包装箱运输，同时根据实际情况进行保护，确保其不受污损。包装时，周围环境及包装箱内应清洁、干燥、无有害气体、无异物。

7.2.2 在包装箱外应标明：

- a) 制造商名称、地址；
- b) 产品名称及型号；
- c) 包装储运图示标志，按 GB/T 191 的规定选用。

7.2.3 随运输系统提供的技术资料（产品出厂合格证、使用说明书等）应完整无缺，装入袋中，并放置在包装箱内。

7.2.4 使用说明书应给出操作和维护保养安全注意事项，内容至少应包括：设备组成、功能、设备使用、维护与保养方法。

### 7.3 运输

在运输过程中，智能挂钩必须固定放置，如有必要应使用减震材料将智能挂钩包裹紧密，以防止智能挂钩在运输过程中发生缠绕、碰撞或意外事故。禁止在运输过程中对运输系统进行充放电。不得与易燃、易爆、易腐蚀物品同车混装。运输环境应保持干燥。

### 7.4 贮存

包装入库的运输系统采用防尘措施，应贮存在干燥、通风和无腐蚀气体、防晒的室内，露天存放时应有防雨、防潮和防碰撞的措施。不得与易燃、易爆物品同贮。