

T/GXAS

团 体 标 准

T/GXAS 1098.1—2025

农用无人驾驶航空器山地吊运安全操作 技术规范 第1部分：总则

Specification for safe operation of agricultural unmanned aircraft in
mountainous area cargo hoisting—Part 1: General principles

2025 – 08 – 27 发布

2025 – 09 – 02 实施

广西标准化协会 发 布

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 设备要求 1

 4.1 通用要求 1

 4.2 吊具要求 2

5 人员要求 3

6 作业前准备 3

 6.1 物料准备 3

 6.2 设备检查 3

 6.3 驾驶员作业位置 3

 6.4 装/卸货点位置 3

 6.5 作业航线规划 3

 6.6 环境安全要求 3

7 单机作业 4

8 多机作业 5

 8.1 作业形式 5

 8.2 作业要求 5

9 作业验收 6

10 安全管理 6

 10.1 处置原则 6

 10.2 安全宣导 6

 10.3 应急处理 6

11 维护与保养 7

 11.1 日常维护 7

 11.2 吊运系统检查 7

 11.3 电池管理 7

12 档案管理 7

附录 A（资料性） 设备检查清单 8

附录 B（资料性） 作业风险等级划分 9

附录 C（资料性） 载荷释放操作示例 10

附录 D（资料性） 作业形式图 11

附录 E（资料性） 作业验收确认单 12

附录 F（资料性） 设备物资点验清单示例表 13

附录 G（资料性） 手势动作对照表 14

参考文献 16

前 言

本文件参照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。

本文件是T/GXAS 1098《农用无人驾驶航空器山地吊运安全操作技术规范》的第1部分。T/GXAS 1098已经发布了以下部分：

——第1部分：总则；

——第2部分：果蔬类吊运。

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。

本文件由广西林学会、广西无人机技术应用协会提出、归口并宣贯。

本文件起草单位：河池市林业科学研究院、河池市科学技术情报研究所、广西科学院河池分院、广西河池天蓝农业科技有限公司、深圳市大疆创新科技有限公司、广西现代职业技术学院、河池市职业教育中心学校、梧州市轩助消防科技有限公司、广西威鹰科技发展有限公司、广西科学院、河池市金城江区农业农村局、河池市金城江区自然资源局、广西壮族自治区林业科学研究院、河池学院、重庆市江津区四面山森林资源管理服务中心、云南省林业和草原科学院漾濞核桃研究院、河池市木本粮油产业发展中心、广西景航无人机有限公司、北斗航天科技(广西)有限公司、柳州城市职业学院、百色环飞科技有限公司、内蒙古天蓝蓝航空科技有限公司、广西标准化协会。

本文件主要起草人：蓝锐、谢代祖、韦国旺、程忠义、谢宏昭、刘文根、蓝婕英、覃柳霞、韦艺、韩俊严、李露、黄媚媚、谭珍妮、古恋、韦林、蒋玉芳、吴峰、杨德英、梁正乐、吴皓然、梁栩源、卢迪、梁献助、梁献创、陆电学、储江、赵志珩、黄晓露、李让高、李运飞、黄麟凯、韦丹、韦红丹、韦柳麦、张慧英、蓝婉婷、祁子颖、梁悦柠、覃岗、黄甫克、韦良炬、覃国乐、杨敏、熊新武、覃孟源、龙跃、黄荣、蓝军勇、梁运波、朱孟伟、毛志锋、徐涵、吴力力、胡国新、李升、兰加永、罗宇龙、梁肖、李伟、刘祁云、黄强、苏子华。

引 言

随着现代农业技术的发展，农用无人驾驶航空器因其高效、灵活、适应性强等特点，在山地、丘陵等复杂地形区域的农业生产中应用日益广泛，特别是在物资运输（吊运）方面展现出显著优势。山地环境具有地形起伏大、气象条件复杂多变、起降场地受限、信号易受干扰等特征，对农用无人驾驶航空器吊运作业的安全性提出了严峻挑战。本标准旨在规范农用无人驾驶航空器在山地环境下的农资、农产品、林木产品等物资吊运作业的安全操作流程，降低作业风险，提升作业效率与安全性。规范山地环境下的吊运操作，对保障作业人员、地面人员生命财产安全，保护作业区域周边设施和环境，以及促进农用无人驾驶航空器技术在山地农业领域的健康、可持续发展至关重要。

目前，针对农用无人驾驶航空器通用操作、植保作业等已有相关标准，但对于山地地形下进行吊运作业这一特定应用场景的安全操作技术规范尚显不足。为有效指导操作人员安全、规范地进行山地吊运作业，预防和减少事故风险，特制定本团体标准。T/GXAS 1098《农用无人驾驶航空器山地吊运安全操作技术规范》分为如下部分组成：

——第1部分：总则。目的在于确立山地吊运作业安全操作的基本原则、通用要求和基本程序框架，为后续涉及具体机型、作业流程、维护保养、应急处置等更详细技术要求的各部分标准提供基础和指导。

——第2部分：果蔬类吊运。目的在于确立山地吊运果蔬类作业安全操作工作提供指导。

——第3部分：林木产品吊运。目的在于确立山地吊运大型林木产品作业安全操作工作提供指导。

——第4部分：小型生产劳动工具吊运。目的在于确立山地吊运小型生产劳动工具作业安全操作工作提供指导。

——第5部分：森林消防物资吊运。目的在于确立山地吊运森林消防物资作业安全操作工作提供指导。

农用无人驾驶航空器山地吊运安全操作技术规范

第1部分：总则

1 范围

本文件界定了农用无人驾驶航空器山地吊运安全操作涉及的术语和定义，规定了山地吊运安全操作的设备、人员、作业准备、单机作业、多机作业、作业验收、安全管理、维护与保养等要求，描述了山地吊运安全操作过程信息的追溯方法。

本文件适用于最大起飞重量不超过150 kg的农用无人驾驶航空器山地吊运作业。

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 5737 食品塑料周转箱
GB/T 18487.4 电动汽车传导充放电系统 第4部分：车辆对外放电要求
GB 26859 电力安全工作规程 电力线路部分
GB/T 35018 民用无人驾驶航空器系统分类及分级
GB/T 38152 无人驾驶航空器系统术语
GB/T 39907 果蔬类周转箱尺寸系列及技术要求
GB 42590 民用无人驾驶航空器系统安全要求
GB/T 43332 电动汽车传导充放电安全要求
GB/T 43668 物流无人机货物吊挂控制通用要求
HB 8566 多旋翼无人机系统通用要求
NY/T 4615 农用无人驾驶航空器操控员培训指南

3 术语和定义

GB/T 35018、GB/T 38152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 agricultural unmanned aircraft

最大飞行真高不超过30m，最大平飞速度不超过50km/h，最大飞行半径不超过2000m，具备空域保持能力和可靠被监视，专门用于植保、播种、投饵、吊运等农林牧渔作业，全程可以随时人工介入操控的无人驾驶航空器。

3.2

手动消摆 manual damping

驾驶员通过主动伺机操纵遥控器使用航空器与货物做相对运动，来抑制货物异常摆动的操作过程。

3.3

自动消摆 auto oscillation damping

驾驶员通过姿态传感器、视觉传感器或雷达等感知货物摆动状态，依据飞控系统预设的控制算法，实时调整电机转速和飞行器姿态，产生反向力矩抑制摆动，使货物快速恢复稳定状态的过程。

4 设备要求

4.1 通用要求

4.1.1 农用多旋翼无人驾驶航空器系统性能应符合 HB 8566 的规定，系统安全应符合 GB 42590 的规定。

4.1.2 应配备带显示屏的遥控器，显示屏尺寸 $\geq 17.78\text{ cm}$ （7吋），分辨率 $\geq 1920 \times 1080$ 像素的多旋翼无人驾驶航空器机型，应配备循环补能系统。

4.1.3 应配备北斗卫星导航系统模块，水平精度 $\geq 0.5\text{ m}$ ，垂直精度 $\geq 0.5\text{ m}$ ，宜使用RTK（实时动态差分）或PPK（后处理动态差分）等差分定位技术。

4.1.4 动力源分为电池、燃油、混合三种：

——纯电动动力适用于短距离、轻载重作业，满电满载悬停飞行时间应 $\geq 5\text{ min}$ ；

——燃油动力适用于长距离、重载重作业，满油满载悬停飞行时间应 $\geq 60\text{ min}$ ；

——混合动力适用于对续航和载重均有较高要求的作业，满载悬停飞行时间应 $\geq 120\text{ min}$ 。

4.1.5 通信链路应采用双频段（2.4 GHz/5.8 GHz）或具备更强抗干扰能力的其他技术的数字传输技术，有效通信距离 $\geq 2\text{ km}$ ，端到端通信时延 $\leq 200\text{ ms}$ 。无线电设备及其使用符合《微功率短距离无线电发射设备目录和技术要求》的要求。

4.1.6 农用无人驾驶航空器应具备航点规划与自动飞行、一键自动返航、定高/定点悬停、飞行状态实时监控与告警等飞控系统能力；具备有效的避障功能，能识别并规避静态障碍物和动态障碍物；具备增强现实（AR）投影、装卸货点标记等辅助功能；具备智能消摆等功能。

4.1.7 农用无人驾驶航空器系统应具备高海拔（ $\geq 3000\text{ m}$ ）作业能力。3000 m以上环境最大有效升力（或悬停拉力）相对于海平面标称值的衰减应 $\leq 40\%$ ，5000 m以上环境下衰减应 $\leq 50\%$ 。高海拔地区吊运作业时，根据实测升力衰减和气象条件重新计算并严格限制实际载重量。

4.1.8 应预留快速安装吊运设备的供电、控制信号通道接口。

4.1.9 农用无人驾驶航空器应按有关规定，完成实名制登记。

4.2 吊具要求

4.2.1 常规吊具

性能应符合以下要求：

——吊具与农用无人驾驶航空器承重部件相适配的锁紧（保险）机构，具有防松动、防意外解脱的设计；

——上端有快速换装、固定吊绳的简易金属支架装置；

——下端配备重力或机械自动脱钩装置。

4.2.2 智能吊具

性能应符合以下要求：

——功能：具备自动消摆（触发角度为 $\geq 15^\circ$ ）、称重系统、过载检测保护等功能；

——材质：主要承载结构应采用不锈钢、高强度铝合金或其他具有同等或更高强度的材料，极限破断载荷 ≥ 4 倍最大额定载荷；

——强度：挂点受力强度应 ≥ 6 倍最大额定载荷；

——安装：支持快速安装，自带 ≥ 4 个对接锁扣及防脱保险装置，有供电、控制信号通道快接接口；

——响应时间：支持手动和自动双模式释放，机械式释放响应时间 $\leq 1\text{ s}$ ，熔断式释放响应时间 $\leq 10\text{ s}$ ；

——投放控制应符合GB/T 43668的规定。

4.2.3 绳索

性能应符合以下要求：

——材质：应采用轻质合成纤维或钢丝绳；

——拉力：破断载荷 ≥ 6 倍最大额定载荷；

——长度：宜为8 m~25 m，可根据卸货点障碍高低情况调整；

——配重：绳索下方末端配重应2~4倍于绳索自身重量。

4.2.4 吊装工具

4.2.4.1 吊篮：应为高密度塑料材质，具有均衡分布的4个或以上主要受力连接点，承重 ≥ 4 倍最大额定载荷，每篮（筐）满装工作重量宜 $\leq 30\text{ kg}$ ，篮（筐）尺寸宜为 $\leq 80\text{ cm} \times 60\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ ，食品塑料周转箱符合GB/T 5737的规定，以及果蔬类周转箱符合GB/T39907的规定。

4.2.4.2 吊袋：应选择韧性好，有收束性袋口和承重提拉环，极限破断载荷 ≥ 4 倍最大额定载荷的轻质布袋，吊袋尺寸大小（容量）应在满装货物时的重量 $\leq$ 最大额定载重。

4.2.4.3 吊网：应选择韧性好、单股网线线径应 $\geq 2\text{ mm}$ 、多股网线总线径应 $\leq 5\text{ mm}$ 的轻质尼龙纤维材质的平面整张网，收束有环束和角束两种方式，网孔大小或袋口收束方式根据吊运果蔬大小选择。

5 人员要求

每一个作业单元成员由无人驾驶航空器驾驶员、地勤人员组成，多机作业时应指定一名总指挥（调度员），各岗位人员应经培训合格上岗，符合以下要求：

- 农用无人驾驶航空器驾驶员：应按NY/T 4615的规定，取得相应操控员证书，掌握吊运设备使用方法和维修技术，熟悉山区环境，掌握风险及应急处置流程。负责对接任务、风险评估、任务分配、人员安全培训，驾驶农用无人驾驶航空器，管理指挥本单元地勤人员；
- 地勤人员：应掌握吊具使用、物资捆扎方法、引导指令、应急避险等安全常识，负责电池维护、充电、换电、货物的分装、上货、下货和设置警示标志，维护起降点及周边安全等保障工作；
- 总指挥（调度员）：应由经验丰富（飞行时长 $\geq 400\text{ h}$ 、吊运总重 $\geq 500\text{ t}$ ）的驾驶员担任或兼任，负责整个飞行项目管理、空域申请、总体协调、任务分配调度、安全培训、指挥，及突发情况处置。

6 作业前准备

6.1 物料准备

吊运前应做好农用无人驾驶航空器吊运相关的辅助设备、物料等准备工作，包括吊运架、脱钩器、遥控器外置电池、对讲机、安全帽、反光衣、手套、捆绑绳、安全警示设施等。

6.2 设备检查

按附录A进行设备检查清单清点设备情况，重点检查吊运系统锁扣扣紧，避障系统全向正常，各传感器显示正常无报错，图像回传正常、画面清晰，导航卫星系统信号或实时动态差分信号良好稳定等。

6.3 驾驶员作业位置

应选择在靠近货物集散点附近，能清楚观察到装/卸货点，信号、视野等无遮挡的区域。

6.4 装/卸货点位置

驾驶员利用农用无人驾驶航空器或手机RTK打点方式进行标记装/卸货点位置，宜选择AR投影等待遥控器屏幕显示“装”“卸”。清理装卸货点的塑料袋、编织袋等轻质物品。对于吊运竹子、木材等长条形物资，装/卸货点应预留足够农用无人驾驶航空器悬停高度的安全区域。

6.5 作业航线规划

6.5.1 航线应最大限度避开人口稠密区、建筑物、高压输电线路、通信塔、高大林木等障碍物。

6.5.2 航线应优先选择地形相对平缓、气流相对稳定的路径，避免穿越峡谷风口、陡峭崖壁边缘等强紊流区，应沿相对平缓山脊防地形爬升。

6.5.3 航线应预留足够的应急机动空间和安全裕度，飞行高度应考虑地形起伏和障碍物高度。

6.6 环境安全要求

6.6.1 作业安全要求

6.6.1.1 起降点周边 6 m 内无障碍,起降点半径 <10 m 内无人员,吊运路径下方及两侧各 15 m 内无人员或重要设施,设置警戒标识。吊运长条形物资,安全距离应扩大到物资长度 2 倍。起降点坡度 $\leq 30\%$,地面凸起处不能与螺旋桨接触。

6.6.1.2 涉及夜间或低光照条件下作业时,警戒标识应配备主动发光或反光装置。

6.6.1.3 涉及在架空电力线路保护区范围作业时,不应在架空电力线路垂直上方飞行。吊运过程中,农用无人驾驶航空器、吊绳、货物等任何部位与带电导线应保持安全距离,安全距离符合 GB 26859 邻近或交叉其他电力线工作的安全距离要求。

6.6.1.4 充电(燃油发电机组)设备应选择阴凉、通风、防雨位置,保持充分散热,排气口周边 3 m 内无易燃物品。户外作业涉及备用油桶,存放地应远离发动机排气口,放在通风阴凉处,周边不能有易燃物品,预备灭火器,指定地勤人员管理。

6.6.1.5 新能源设备外放电补能应符合 GB/T 18487.4、GB/T 43332 的规定。

6.6.2 作业环境评估

6.6.2.1 空域应符合以下要求:

- 飞行作业区域应符合国家的有关规定,合法、安全飞行;
- 在禁飞、限高、架空电力线路保护区等敏感区域作业应提前 24 h 以上向有关部门报告备案,并完成以下申请流程:
 - 1) 在民用无人驾驶航空器综合管理平台(UOM 平台)完成实名制登记;
 - 2) 在该系统的“运行管理”中提交“飞行活动申请”;
 - 3) 填写任务详情提交审批;
 - 4) 待审批获得飞行许可后,向当地公安、民航、农业、市政等有关部门报备。

注:若各地区已出台相关规定时,按地方规定执行。

6.6.2.2 根据地形复杂度、气象、障碍等主要因素,将作业风险划分为三级,风险等级的最终判定需结合具体作业环境、设备状态、人员能力和气象条件等综合因素,由现场负责人或总指挥审慎评估决定。作业风险等级划分见附录 B。

7 单机作业

7.1 启动阶段应按以下内容操作:

- 设定装货点、卸货点;
- 对于规则货物,将吊运货物放入吊具中,绑好挂绳,检查无超重、撒落、脱绳等;对于不规则货物,用绳子捆绑好两端及中间部位,挂钩上货,长度不宜超过 6 m,检查货物无掉落、超重、脱钩等;
- 装货操作为:
 - 1) 驾驶员通过 FPV(第一人称主视角)摄像头实时关注辅助人员位置和动向,操作农用无人驾驶航空器到达装货点上空;
 - 2) 农用无人驾驶航空器进入装货点后保持安全距离,驾驶员通过对讲机给出上货指令,辅助人员进入上货点上货;
 - 3) 地勤人员上货完成后,安全撤离,通过对讲机或手势给出安全起飞指令;
 - 4) 驾驶员手动模式下操作农用无人驾驶航空器缓慢爬升,上升初段速度 ≤ 2 m/s,线性加速;
 - 5) 上升时驾驶员应实时通过 FPV 摄像头观察货物是否牢固、晃动角度、实时重量显示是否有套挂等情况。

7.2 吊运阶段应按以下内容操作:

- 无人驾驶航空器应垂直起飞至安全高度 3 m~10 m,安全高度以距障碍物最高的高度及吊物的高度为宜,安全悬停确认姿态稳定后开始向目标点平飞,线性加速起步,速度应 ≤ 13.8 m/s;
- 对于平缓区域或没有大幅度起伏的吊运航线切换至自动航线,并开启智能消摆,一键飞往卸货点,物资跨越高度 $\geq$ 障碍物 5 m;对于异常摆动的操作过程,应进行手动消摆;
- 对于复杂区域,使用手动作业,全程开启智能消摆;宜保持速度 ≤ 5 m/s 匀速飞行,避免急加速/急刹、快速转向或倾斜;实时监控遥控器提示和相关参数,剩余电量应 $>30\%$ 、电池温度应 ≤ 70 °C、货物距地高度、摆动角度、信号(无中断)、风速(无突变)等;

- 遇障碍物时，提前爬升平缓跨越或向安全一侧绕行；
- 实时关注 PFV 摄像头和四目视觉画面，观察雷达提示周边障碍情况。

7.3 载荷释放时应按以下内容操作：

- 自动脱钩：在快到达卸货点时，宜通过遥控器卸货点 AR 投影，提前线性减速，预留 15m 智能消摆的惯性距离；农用无人驾驶航空器缓慢下降，货物触地后自动脱钩；
- 非自动脱钩操作如下：
 - 1) 农用无人驾驶航空器缓慢下降，货物触地后继续降 4 m，再平飞出 6 m 安全距离，载荷释放操作示例见附录 C；
 - 2) 驾驶员通过对讲机告知辅助人员卸货；
 - 3) 地勤人员进入卸货区，驾驶员通过 PFV 实时关注地勤及卸货情况；
 - 4) 卸货完成后，地勤人员离开，保持安全距离，驾驶员平飞农用无人驾驶航空器到挂钩正上方，缓慢上升至安全高度，并实时关注挂钩、绳子等情况；
 - 5) 估算往返耗电量，评估吊运次数和吊运重量。
- 紧急释放：遥控器独立通道控制，同时抛投绳索和物资，触发后立即返航。

8 多机作业

8.1 作业形式

8.1.1 多机作业宜为接力作业、交替作业两种形式。根据任务特点选择适宜形式，遵循安全飞行优先级别；每台无人驾驶航空器涉及的作业人员和设备为一个单元，地勤统筹保障，一名驾驶员对应一台无人驾驶航空器。作业形式图见附录 D。

8.1.2 接力作业，适合超单机安全飞行极限的远距离吊运场景，由双机或以上分段接力完成。操作如下：

- 方法：第一单元从装货点吊运到其安全权限位置（卸货点）完成卸货，再由第二单元从该点装货，继续向目标点方向吊运，若仍未到达目标点，则再增加接力作业单元，以此类推，直到最终目标点；
- 技术要求：各作业单元人员应在清楚观察、控制无人驾驶航空器的有利位置，驾驶员应视距内操作，各单元、各成员间应通联畅通，控制信号无遮挡，相邻两个单元不能同时到一个接力点上作业。

8.1.3 交替作业，适合单个装货点向单（多）个卸货点吊运的重任务场景，一个项目点里有多个工作面时，分多个装货点向单（多）个卸货点的方式。操作如下：

- 方法：两单元以上在同个工作面应先后依次按约定区域、航线（环形）、方向交替飞行，不宜跨越区域，互不干扰；
- 技术要求：每个单元飞行间隔可视熟练程度而定，无人驾驶航空器飞行间距宜 $>50\text{m}$ ，飞行高度差宜 $5\text{m}\sim 20\text{m}$ ，保持各单元可直接观察或通过 FPV 画面中观察相对位置，壁障雷达可探测安全距离为宜，起降点间距 $\geq 6\text{m}$ ，互不干扰。

8.2 作业要求

多机作业要求如下：

- 宜选择相同型号机型，多机作业上升速度 $\leq 2\text{m/s}$ ，平飞速度 $\leq 5\text{m/s}$ ；
- 多机空域划分：
 - 可按多装货点对多卸货点、单装货点对多卸货点、多装货点对单卸货点等情形划分；
 - 提前协商吊运作业区域，禁止闯入其他无人驾驶航空器作业区域。
- 往返航线规划。协商确定往返航线，遵守航线航向（单向环形航线），不逆行、不停留；
- 指挥沟通机制：
 - 驾驶员通过对讲机实时沟通飞行状态和位置，由一位驾驶员负责总体指挥（调度）；
 - 应确保之间使用互不干扰的专用通信协议和频率；
 - 遵守安全飞行约定。若空中出现故障，及时向总指挥（调度员）报告，可优先迫降或退出编队航线。

- 优先级机制：
 - 空机让载重；
 - 满电让低电量。
- 多机编号：可在机身处安装多色灯源（或发光数字），在前、后、左、右、下方均可观察为宜。

9 作业验收

作业结束后，按附录E作业验收确认单进行验收，由全体人员对照吊运主要设备数量及状态进行点验，损坏、丢失、变形情况应做好标注，按附录F设备物资点验清单表进行出入库点验。

10 安全管理

10.1 处置原则

包括以下原则：

- 紧急情况时，安全保护优先级依次为人、公共设施、机器、物资、其他等；
- 严重亏电时，尝试远程控制无人驾驶航空器返航或迫降，优先选择空旷或危害小地带迫降；
- 物资脱落时，应立即划定警戒区，准备消防救援器材施救，启动保险程序；
- 遇障碍物时，无人驾驶航空器触碰高压电线（挂置线上），造成停电时或有损失（伤害）时应联系电网部门派出处置人员，不得擅自处置。

10.2 安全宣导

应对作业人员开展以下安全宣导：

- 应选择白天作业，若夜间作业应在每个人身上配戴强光警示灯，农用无人驾驶航空器上安装高亮度照明灯，装卸货点区域打开泛光灯；
- 作业人员全程佩戴安全帽、反光衣；
- 对作业人员培训对讲机的使用，确定对讲机频道和通话测试，待发出指令后再操作等；
- 对作业人员开展培训指令用语、手势等，统一口令和手势，内容包括上升、下降、注意、危险、投放、消摆等，手势动作对照表见附录G；
- 对作业人员培训挂钩技巧、上货步骤、脱钩方法及注意事项等；
- 对作业人员开展应急培训，内容包括：保持安全距离、紧急避险操作等；
- 吊运作业过程中更换地勤或辅助人员时应进行交接程序；
- 设置安全作业区，在作业区域摆放锥形桶和正在作业等告示牌；
- 定期召开安全会议、典型事故案例分析、实操技能培训与考核、模拟应急演练等。

10.3 应急处理

10.3.1 设备应急处理如下：

- 设备通讯中断时：无人驾驶航空器应自动悬停、返航、迫降（按优先级执行）；
- 空中单电机失效时：启动冗余动力模式，紧急返航或选择安全区域迫降，避重就轻减少损失和伤害；
- 动力电池故障时：严禁飞行。动力电池电量低时，应参考系统指示极限值，调整载重或更换电池；
- 电量报警时：设置低电量警告值为30%，严重低电量警告值为5%；若剩余电量 $\leq 30\%$ 时，应规划电池更换时机；若剩余电量 $\leq 20\%$ 时，应立即返航至起降点更换电池；若返航途中电量进一步降低 $\leq 5\%$ 时，应就近避开障碍物平坦区域迫降；
- 单元故障时：在多机作业场景中，若其中某一单元有机器故障、突发情况时，应自动退出预定航线安全降落，排查故障，同时向总指挥（调度员）报告，其他单元自动调整平均间距，故障排除后申请复飞，由总指挥员伺机安排加入编队；
- 载荷脱落时：返航检查，损失评估，回收损件，处理善后；

- 吊装物脱落时：立即启动避让程序，设置警戒区；开展地面搜寻，在航线轨迹图标记失落点；
- 吊具失效时：吊具与农用无人驾驶航空器的控制连接、投放、脱钩失效，重试3次无效后立即返航降落，并做好避让和接应工作，排查故障。

10.3.2 人员应急处理如下：

- 飞行过程中驾驶员中暑：立即悬停，呼叫队友救援，由备用驾驶员接管遥控器或执行自动返航；
- 地勤人员临时不在岗：立即指定替补地勤人员就位，或暂停作业，待各岗位人员到位后继续。

10.3.3 环境因素应急处理如下：

- 吊绳缠绕障碍物无法摆脱时：优先确保周边人员安全情况下，避开高价值损失，立即启动紧急释放装置，进行抛投；
- 高海拔地区作业时：在3 000 m以上载重应减少40%，在5 000 m以上载重应减少50%；
- 突发强风 $>13\text{ m/s}$ 等情况时：应降低高度、暂停作业、就近迫降，优先考虑无人驾驶航空器安全，险情解除后在条件允许时再复飞；
- 外界干扰时：车辆、人员、动物等闯入装（卸）货点安全区内时，应立即暂停作业，驾驶员操控无人驾驶航空器悬停于安全高度 $\geq 5\text{ m}$ ，待地勤、辅助人员劝离完毕，确认安全并向驾驶员给出指令后恢复作业程序；若动力能量将消耗殆尽仍未解除干扰，应就近避开障碍物安全区域降落；
- 坠机事故在林区发生时：应及时到达坠机点勘察是否有电池损坏起火现象，穿戴防火手套移除电池到安全区域，出现明火使用沙土、灭火器等方式灭火，不可控时，人员应撤离安全区域，及时组织力量构筑防火隔离带，同时联系医疗卫生、应急救援等相关部门施救，并按《民用无人驾驶航空器事件信息管理办法》规定报备。

11 维护与保养

11.1 日常维护

- 11.1.1 保持电池插口与分电板清洁。传感器以及遥控器故障报错等排查。
- 11.1.2 检查机臂卡扣、桨夹、垫片、桨叶等，并及时更换变形、破损物料。
- 11.1.3 充电设备定期保养，做好设备定期维护保养计划。

11.2 吊运系统检查

- 11.2.1 开展吊运系统锁扣、挂钩检查。
- 11.2.2 开展绳索磨损情况检查，有1处磨损深度 $>1/4$ 绳索直径或有2处磨损深度 $>1/5$ 绳索直径应更换。
- 11.2.3 发现设备故障应随时排除，宜每工作50h要更换充电站润滑油，吊运系统宜每工作100h进行全功能性能测试，具体按生产厂家标准执行。

11.3 电池管理

- 11.3.1 电池电量 $\leq 30\%$ 时更换满电电池。
- 11.3.2 充电环境温度 $15\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为宜，电池内部温度不应超过 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，单电芯压差 $\leq 0.05\text{ V}$ ，循环次数 $\geq 2\text{ 000}$ 次或电量衰减 $>30\%$ 应停止使用。

12 档案管理

作业单位应建立完整的作业档案，做好农用无人驾驶航空器设备点检，保存飞行任务验收单，做好作业数据上传保存，作业档案至少保存3年。

附 录 A
(资料性)
设备检查清单

设备检查清单见表A.1。

表 A.1 设备检查清单

设备	内容
电池	电量(≥90%)、电压(单体/总电压一致性)、温度(是否异常温升, ≤60℃)、外观(有无鼓包、漏液、损伤)
电机	转动是否顺畅、无异响、无卡滞; 散热口通畅
螺旋桨	完整性(无裂纹、缺口、变形)、平衡性、安装牢固性(锁紧无松动)
机身结构	框架/臂有无损伤、变形, 螺丝紧固
吊具与连接	锁紧机构功能测试、绳索/吊钩/卸扣磨损检查、吊具与农用无人驾驶航空器连接点可靠性验证
遥控器	电量充足、摇杆回中正常、按键响应、屏幕显示清晰、天线完好
传感器	清洁(镜头、避障传感器)、校准状态
通讯链路	遥控、图传信号强度测试
定位系统	搜星数量、定位精度状态

附 录 B
(资料性)
作业风险等级划分

作业风险等级划分见表B.1。

表 B.1 作业风险等级划分

等级	风险因素							
	高度 (落差) /m	距离/m	障碍物 (处)	气象条件	信号 影响	起降点 卸货条件	敏感 区域	过往车辆 及人员
低风险	0~200	0~400	1	能见度>500 m; 风力<4级; 晴天; 气温20℃~30℃	信号弱	不平整	限高区	偶尔
中风险	200~400	401~800	2	能见度100 m~500 m; 风力5~6级; 小雨; 气温30℃~40℃	轻微遮挡	空间小	禁飞区	经常
高风险	>400	>800	≥3	能见度<100 m; 风力>7级; 小雨加雷电; 气温>40℃	深度遮挡	无条件; 或不平整和空间小	绝对敏感区	一直有
处置方法								
低风险	常规作业	谨慎飞行	常规作业	调整控制位	谨慎缓降	提前报备解除	设立警示标识	
中风险	减速	绕开另选起降点	谨慎作业	架设中继站	拓展平台	禁	地勤维护警戒	
高风险	谨慎、满电飞、有迫降点	重新规划路线	暂停作业		抛投或创造条件	放弃飞行	改变地点	

^a 飞行障碍物有电线、树木、建筑、山体等因素, 1表示为存在1项风险因素, 2表示存在2项风险因素, 依次类推。

附录 C
(资料性)
载荷释放操作示例

载荷释放操作示例见图C.1。
示例：

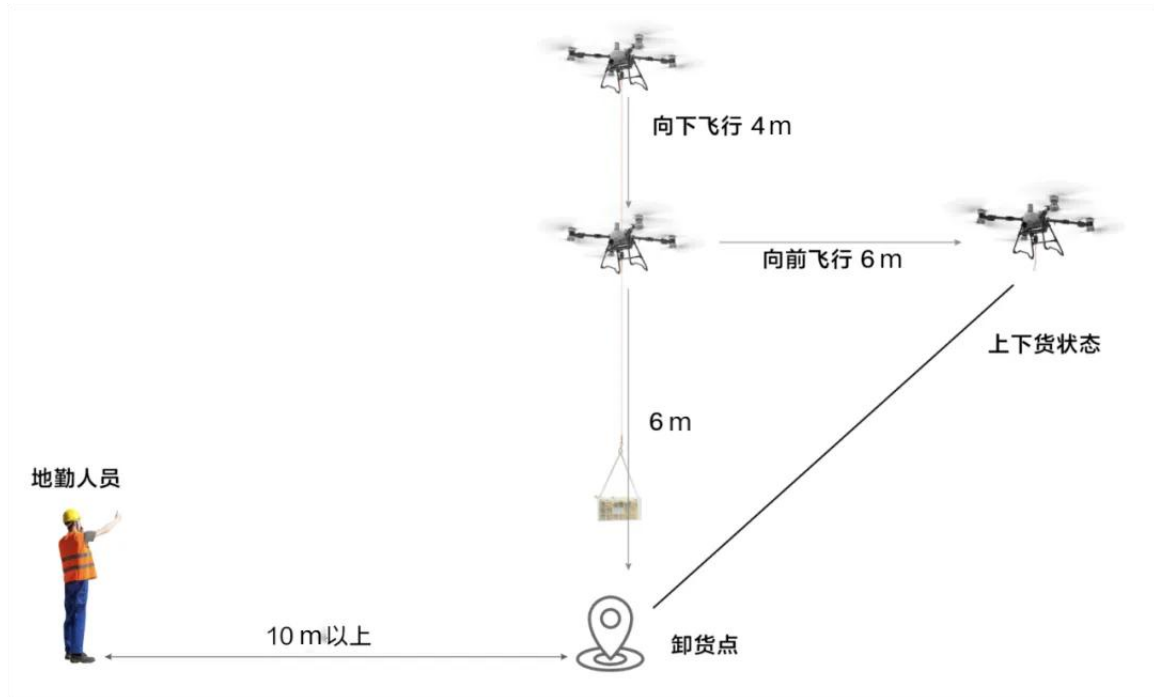


图 C.1 载荷释放操作示例

附录 D
(资料性)
作业形式图

作业形式见图D.1。

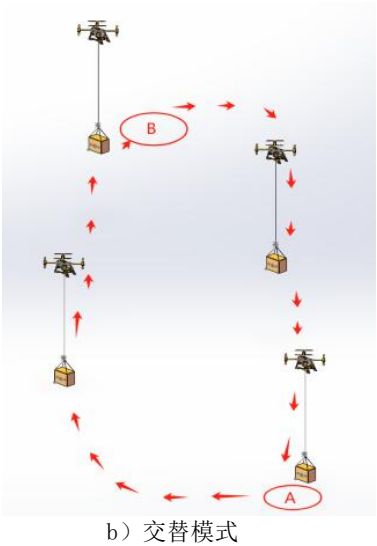
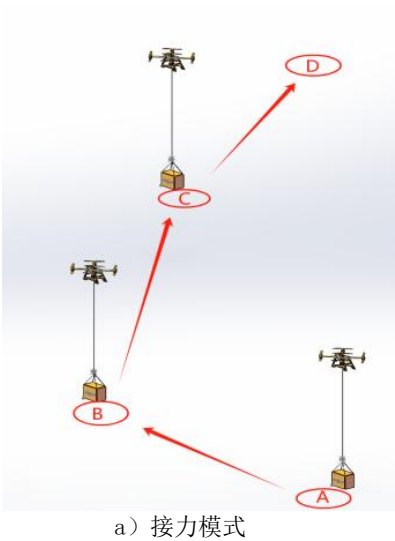


图 D.1 作业形式图

附 录 E
(资料性)
作业验收确认单

作业验收确认单见表E.1。

表 E.1 作业验收确认单

作业时间	作业地点	吊运对象	工程量	完成情况	验收结果	备注
起： 年 月 日 止： 年 月 日						
业主方（签字/盖章）：				承飞方（签字/盖章）：		
验收时间： 年 月 日				验收时间： 年 月 日		

附 录 F
(资料性)
设备物资点验清单示例表

下面给出设备物资点验清单示例表。

示例：

序号	设备名称	数量	性能状态	序号	设备名称	数量	性能状态
1	作业车辆	1	完好	8	充电站	2	保养期到
2	无人驾驶航空器	2	完好	9	吊运架	2	变形
3	动力电池	6	1号异常	10	脱钩器	4	完好
4	遥控器	2	其他完好；1号故障	11	绳索	4	1根磨损
5	遥控器电池	6	完好	12	对讲机	6	无电
6	照明灯	2	完好	13	安全帽	6	完好
7	油桶	1	完好	14	...	...	...



附 录 G
(资料性)
手势动作对照表

手势动作对照表见表G. 1。

表 G. 1 手势动作对照表

序号	图示1	图示2	动作描述	含义
1			人直立，左手叉腰，右手手指并拢，右手大臂水平，右手小臂垂直举起，反复向上伸直动作2次	起飞
2			人直立，双手大臂向前抬起，小臂平行上举，手指并拢，双掌心相对，手撑向中间并拢于安全帽上方，展开-并拢动作反复2次	消摆
3			人直立，单手掌心向上，手臂水平一侧伸直，以肩部为轴，由水平位置向上移动60度角，反复2次	上升

表 G.1 手势动作对照表（续）

序号	图示1	图示2	动作描述	含义
4			人直立，单手掌心向下，手臂水平一侧伸直，以肩部为轴，由水平位置向下移动60度角，反复2次	下降
5			人直立，双手握拳交叉于安全帽前上方，展开交叉动作反复2次	危险 (暂停)
6			人直立，单手手臂水平向前伸直，单手握拳，做展开-握拳动作反复2次	脱钩 (投放)
7			单手在胸前做“OK”手势，保持此手势向胸前轻拍2次	完毕 (结束)
8			人直立，单手手臂水平向前伸直，手心向下，双指（食指和中指）指向下方并顺时针划圈	重试
注1：面向无人驾驶航空器方向做动作，动作准确到位。 注2：单手动作时，选择左右手均可。 注3：手势指挥前，对讲机提前或同步告知。				

参 考 文 献

- [1] GB/T 5082 起重机 手势信号
 - [2] DG/T 157 农业机械北斗导航辅助驾驶系统
 - [3] HB 8731 无人机系统维修手册编制规范
 - [4] 《微功率短距离无线电设备技术要求》（工信部〔2005〕423号）
 - [5] 《微功率短距离无线电发射设备目录和技术要求》（工信部〔2019〕52号）
 - [6] 《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例》（国务院、中央军委〔2023〕761号）
 - [7] 《民用无人驾驶航空器事件信息管理办法》（民航规〔2025〕15号）
-

中华人民共和国团体标准
农用无人驾驶航空器山地吊运安全
操作技术规范 第1部分：总则
T/GXAS 1098.1—2025
广西标准化协会统一印制
版权专有 侵权必究