|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 49.020 |
| CCS | |  | | --- | | D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png GXAS |   V 35 |

团体标准

T/GXAS XXXX—XXXX

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

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

广西标准化协会  发布

目次

[前言 III](#_Toc201787847)

[引言 IV](#_Toc201787848)

[1 范围 1](#_Toc201787849)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc201787850)

[3 术语和定义 1](#_Toc201787851)

[4 设备要求 2](#_Toc201787852)

[4.1 通用要求 2](#_Toc201787853)

[4.2 吊具要求 2](#_Toc201787854)

[5 人员要求 3](#_Toc201787855)

[6 作业环境评估 3](#_Toc201787856)

[6.1 空域要求 3](#_Toc201787857)

[6.2 风险等级划分 3](#_Toc201787858)

[7 单机作业 4](#_Toc201787859)

[7.1 作业前准备 4](#_Toc201787860)

[7.2 作业过程控制 5](#_Toc201787861)

[7.3 作业完成后 5](#_Toc201787862)

[8 多机作业 6](#_Toc201787863)

[8.1 多机作业形式 6](#_Toc201787864)

[8.2 多机作业原则 6](#_Toc201787865)

[9 安全管理 7](#_Toc201787866)

[9.1 处置原则 7](#_Toc201787867)

[9.2 安全宣导 7](#_Toc201787868)

[9.3 应急处理 7](#_Toc201787869)

[10 维护与保养 8](#_Toc201787870)

[10.1 日常维护 8](#_Toc201787871)

[10.2 吊运系统检查 8](#_Toc201787872)

[10.3 电池管理 8](#_Toc201787873)

[11 档案管理 8](#_Toc201787874)

[附录A（资料性） 一种无人机抛投装置示例图 9](#_Toc201787875)

[附录B（资料性） 一种无人机用自动脱钩挂钩示例图 10](#_Toc201787876)

[附录C（资料性） 载荷释放操作示例 11](#_Toc201787877)

[附录D（资料性） 项目验收确认单示例 12](#_Toc201787878)

[附录E（资料性） 设备物资点验清单示例表 13](#_Toc201787879)

[附录F（资料性） 作业形式图 14](#_Toc201787880)

[附录G（资料性） 手势动作对照表 15](#_Toc201787881)

[参考文献 16](#_Toc201787882)

1. 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 XXXX《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 XXXX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和宣贯。

本文件由广西标准化协会归口。

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、深圳市大疆创新科技有限公司、广西产业技术研究院、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、广西农业工程职业技术学院、广西威鹰科技发展有限公司、柳州城市职业学院、金城江区农业农村局、河池市金城江区自然资源局、广西河池天蓝农业科技有限公司、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局、云南省林业和草原科学院漾濞核桃研究院、内蒙古天蓝蓝航空科技有限公司、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、百色环飞科技有限公司、河池市金城江区九圩镇农业服务中心、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、黄媚媚、李伟、蓝婕英、韦艺、韩俊严、李露、谭珍妮、古恋、韦林、蒋玉芳、吴峰、杨德英、梁正乐、梁献助、梁献创、吴皓然、梁栩源、卢迪、陆电学、储江、周巍、毛志锋、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、覃柳霞、覃岗、黄甫克、赵志珩、黄晓露、覃国乐、杨敏、熊新武、覃孟源、韦良炬、龙跃、黄荣、蓝军勇、梁运波、徐涵、吴力力、胡国新、兰良术、李升、谢宏昭、刘祁云、黄强。

1. 引言
   1. 部分

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，对农用无人机吊运作业的安全性提出了严峻挑战。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，以及促进农用无人机技术在山地农业领域的健康、可持续发展至关重要。

目前，针对农用无人机通用操作、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。为填补这一空白，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 XXXX《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：林业种苗吊运。目的在于确立山地吊运林业种苗吊运作业安全操作工作提供指导。

——第4部分：林木产品吊运。目的在于确立山地吊运林木产品作业安全操作工作提供指导。

——第5部分：肥料吊运。目的在于确立山地吊运肥料作业安全操作工作提供指导。

——第6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7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。

* 1. 相关专利情况说明

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到第4章的应急释放装置与“一种无人机抛投装置”相关的专利使用，自动脱钩装置与“一种无人机用自动脱钩挂钩”相关的专利使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利1：《一种无人机抛投装置》。

发明人姓名：蓝锐；韦国旺；覃刚。

专利权人：河池市科学技术情报和创新服务所。

地址：广西壮族自治区河池市金城江区西环路385号(547099)。

专利2：《一种无人机用自动脱钩吊钩》。

发明人姓名：蓝锐；韦国旺；覃刚；覃益德；潘顺峰；高翔；梁献助。

专利权人：广西河池天蓝农业科技有限公司。

地址：广西壮族自治区河池市金城江区西环路385-3号(547000)。

联系人：蓝锐，联系方式：13877809355。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

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、作业环境评估、多机作业、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150kg的农用无人驾驶航空器山地吊运作业，其他吊运场景和其他机型可参照执行。

* 1. 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/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

T/GZWL 007 生鲜果蔬周转筐及其使用标准

* 1. 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。

农用无人驾驶航空器 agricultural unmanned aircraft

用于农业农药喷洒、播种、投饵、吊运等农林牧渔作业，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，具备卫星定位、雷达避障功能、航迹记录、空域保持能力和可靠被监视，全程能自主作业和随时人工介入操控等特点的无人驾驶航空器。

安全冗余 safety redundancy

在农用无人驾驶航空器系统设计中，为动力系统设置超出额定功率的值，当载重达到标定极限时，仍有富足动力保障。安全冗余包括电池、电调、电机、绳索和结构强度等。

多机作业 multi-unmanned aircraft operation

在同一空域内，有2台及以上的农用无人驾驶航空器通过不同的组合方式，同时执行关联性任务的作业模式。

手动消摆 manual damping

驾驶员通过主动伺机操纵遥控器摇杆做相对运动，来抑制无人驾驶航空器机体姿态的异常摆动的操作过程。

自动消摆 auto oscillation damping

飞控系统通过实时分析传感器数据，自动调整动力输出和飞行姿态，修正抑制吊绳规律摆动的闭环控制过程。

* 1. 设备要求
     1. 通用要求

农用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。

应选择带屏遥控器的多旋翼无人驾驶航空器机型。

应配备双北斗、GPS模块+RTK定位导航系统，水平精度±0.5m，垂直精度±0.5m。

动力源有电、油、混合三种；具有较好的续航能力，满电满载悬停飞行时间应≥8min，满油满载悬停飞行时间应≥60min，混合满载悬停飞行时间应≥120min；宜选择混合动力电源的机型吊运。

通信链路应满足山区信号稳定要求，应符合有关短距离无线电设备的规定，双频段（2.4GHz/5.8GHz）数字图传，传输距离≤2km，时延≤200ms。

应具备飞控系统能力、AR投影、标记装卸货点、避障和智能消摆等功能。

应适合高海拔作业能力，3000m以上升力衰减应≤40％，5000m以上升力衰减应≤50％。

应预留快速安装吊运设备的供电、控制信号通道接口。

农用无人驾驶航空器应按有关规定，完成实名制登记。

* + 1. 吊具要求
       1. 常规吊具

应符合以下要求：

1. 具备与农用无人驾驶航空器承重部件相互锁紧机构；
2. 上端有快速换装、固定吊绳的简易角铁支架装置。应具有成本低、承重力大、抗疲劳性好、不易损坏等特性；
3. 中间有吊绳，拉力强度应≥6倍最大载重量；
4. 下端配备重力式机械自动脱钩器，具有防脱落设计挂钩（触地自动脱钩）。
   * + 1. 智能吊具

具有智能消摆功能，满足以下要求：

1. 宜采用不锈钢、铝合金等高强度轻质材料，受力点承重≥4倍最大载荷，具备称重系统和过载检测保护机制；
2. 自带≥4个快速更换安装对接锁扣及防脱保险装置，受力强度应≥6倍最大载重量；
3. 支持快速安装供电、控制信号通道接口；
4. 与农用无人驾驶航空器连接端应配备应急释放装置，宜采用“一种无人机抛投装置”（示例图见附录A）或其他紧急避险的应急释放装置，宜配备缓冲机构；
5. 支持快速释放（手动/自动双模式），释放响应时间≤0.5s；
6. 应配备自动脱钩装置。能安全脱钩，末端配重≥2倍吊绳重量，宜采用“一种无人机用自动脱钩挂钩”（示例图见附录B）或其他自动脱钩纯机械式装置；
7. 具有自动消摆功能，触发消摆角度宜为15°～30°；
8. 投放控制应符合GB/T 43668的规定。
   * + 1. 绳索

应符合以下要求：

1. 吊绳宜轻质、耐磨、体积小、不吸水、易收纳；
2. 吊绳拉力强度应≥6倍最大载重量；
3. 吊绳长度宜为8m～25m，可根据卸货点障碍高低情况加长吊绳；
4. 捆扎绳根据货物特性选择，宜牢固不散落。
   * + 1. 电动绞盘

应符合以下要求：

1. 绞盘承重应≥6倍最大载重量，具备刹车功能，支持手动/自动双模式操控；
2. 减速电机力度应≥3倍最大载重量，收放速度宜为0.8m/s～1.6m/s；
3. 应配备应急释放装置，具有紧急避险功能。
   * + 1. 吊篮（筐）

应符合以下要求：

1. 应为高密度塑料材质，承重≥4倍最大载重量，符合GB/T 5737的规定；
2. 应为方形，有4个平衡受力点，每篮（筐）满装重量宜≤30kg；
3. 篮（筐）尺寸宜为≤80cm×60cm×40cm，符合GB/T 39907的规定；
4. 卫生应符合T/GZWL 007的规定。
   1. 人员要求

每一个作业团队成员由无人驾驶航空器驾驶员、地勤人员和辅助人员组成，多机联合作业时应指定一名总调度（指挥）员，各人员应符合以下要求：

1. 农用无人驾驶航空器驾驶员：应按NY/T 4615的要求培训、考核合格后取得操作证，掌握吊运设备使用方法和维修技术，熟悉山区环境，把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航空器，管理指挥本小分队地勤和辅助人员；
2. 地勤人员：应经过安全培训合格上岗，负责无人驾驶航空器电池维护充电、保障无人驾驶航空器持续供电，维护起降点及周边安全，警示标志设置，随时向无人驾驶航空器驾驶员报告环境安全情况，协助无人驾驶航空器驾驶员排除故障，执行本小分队驾驶员，宜1名地勤对应1台航空器，也根据个人能力保障多台航空器；
3. 辅助人员：应经过安全培训，掌握吊具使用操作、物资捆扎方法、安全常识、引导指令、应急避险，负责货物的分装、挂钩上货、脱钩下货，协助地勤人员做好保障工作，是地勤人员候补人选。装货点和卸货点应分别配备1名辅助人员；
4. 总调度（指挥）员：单独人员担任，或由其中1名经验丰富的无人驾驶航空器驾驶员兼任，负责整个飞行项目管理、申请空域、总体协调、任务分配调度、安全培训、指挥各小分队间的协作，以及突发情况处置。
   1. 作业环境评估
      1. 空域要求

应符合以下要求：

1. 飞行作业区域应符合国家的有关规定，合法、安全飞行；
2. 在禁飞、限高等敏感区域作业应提前24h以上向有关部门报告备案。
   * 1. 风险等级划分

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，驾驶员根据风险等级，判定是否可以作业，风险等级划分见表1：

1. 风险等级划分

| 项目 | 等级 | 因素 | | | | | | | | | 作业参考 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 高度  （落差）  /m | 距离/m | a障碍物 | 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 | 其他 |
| 参考值 | 低风险 | 0～200 | 0～400 | 1 | 能见度＞500m；风力＜4级；晴天；气温20℃～30℃ | 信号弱 | 不平整 | 限高区 | 偶尔 |  | 减速作业 |
| 中风险 | 200～400 | 401～800 | 2 | 能见度100m～500m；风力5～6级；小雨；气温30℃～40℃ | 轻微遮挡 | 空间小 | 禁飞区 | 经常 |  | 谨慎作业 |
| 高风险 | ＞400 | ＞800 | 3 | 能见度＜100m；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 |  | 不宜作业 |
| 评估值 | 低风险 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 中风险 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 高风险 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1. 限制无人驾驶航空器安全装货、飞行和卸货的电线、树木、建筑、山体的因素。 | | | | | | | | | | | |

* 1. 单机作业
     1. 作业前准备
        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，如吊运架、脱钩器、遥控器外置电池、对讲机、安全帽、反光衣、手套、捆绑绳等。

* + - 1. 设备检查

检查无人驾驶航空器(电池、电机、传感器、通信模块)、吊运装置(绑带、卡扣、平衡结构)、物资(固定状态)等，确保设备满足以下条件：

1. 电池电量≥90％，电机、电调温度≤45℃；
2. 吊运系统锁扣扣紧，机臂卡扣锁紧，桨叶展开且无破损；
3. 避障系统全向正常，障碍物检测距离≥60m，无故障提示；
4. 各传感器显示正常无报错，FPV（第一人称主视角）图像回传正常、画面清晰；
5. GNSS信号或RTK信号良好稳定。
   * + 1. 驾驶员作业位置

确定驾驶员作业区域。应选择在靠近货物集散点附近，能观察到装/卸货点、信号、视野等无遮挡的区域。

* + - 1. 装/卸货点位置

确认装/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，宜选择VR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。对于竹子/木材等吊运装/卸货物资，应预留充分足够农用无人驾驶航空器悬停高度的安全区域。

* + - 1. 作业航线规划

农用无人驾驶航空器空飞往返装、卸货点，通过FPV摄像头确认安全、高效的吊运航线，记录各风险点参数，避开公路、高压电线、高大建筑物及居民房屋等。遇到陡峭地形，应沿相对平缓山脊防地形爬升。

* + - 1. 环境安全复核

起飞前应确认如下环境要求：

1. 起降点周边6m内无障碍。吊运长条形物资，安全距离应扩大到物资长度2倍；
2. 地面人员撤离半径≥10m，设置警戒标识；
3. 起降点坡度≤30％；
4. 划定隔离区：起降点半径＞10m内无人员，吊运路径下方及两侧各15m内无人员或重要设施；
5. 油桶保管：户外作业涉及备用油桶，存放地应远离发动机排气口和，放在通风阴凉处，周边不应有易燃物品，预备灭火器，指定地勤人员管理；
6. 新能源设备外放电补能应符合GB/T 18487.4、GB/T 43332的规定。
   * 1. 作业过程控制

启动阶段应按以下内容操作。

1. 设定装货点、卸货点。
2. 对于规则货物，辅助人员提前准备好吊具，将吊运货物放入吊具中，并绑好挂绳，检查无超重、撒落、脱绳等；对于不规则货物，辅助人员应提前使用绳子捆绑好两端，并将中间部位绑紧，等待挂钩上货，并检查货物无掉落、超重、脱钩等，长度不宜超过6m。
3. 装货操作为：
   1. 驾驶员通过FPV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. 辅助人员上货完成后，安全撤离，通过对讲机给出安全起飞指令；
   4. 驾驶员手动模式下操作农用无人驾驶航空器缓慢爬升，速度≤2m/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。

吊运阶段应按以下内容操作：

1. 无人驾驶航空器应垂直起飞至安全高度(3m～10m)，悬停确认姿态稳定后开始向目标点平飞，速度应≤13.0m/s；
2. 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≥障碍物5m；对于异常摆动的操作过程，应进行手动消摆；
3. 对于复杂区域，使用手动作业，全程开启智能消摆；保持匀速飞行(宜速度＜5 m/s)，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，电量(剩余应＞30％)、电池温度应≤70℃、货物距地高度、摆动角度、信号(无中断)、风速(无突变)等；
4. 遇障碍物时，提前爬升平缓跨越或向安全一侧绕行；
5. 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。

载荷释放时应按以下内容操作。

1. 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。
2. 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4m，再平飞出6m安全距离，载荷释放操作示例参见附录C；
   2. 驾驶员通过对讲机告知辅助人员卸货；
   3. 辅助人员进入卸货区卸货，操作人员通过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。
3. 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。
   * 1. 作业完成后
        1. 项目验收

项目结束后，按项目验收确认单示例（参见附录D）进行验收。

* + - 1. 设备点验

作业结束后，由全体人员对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，及时补充、更换或维修，按设备物资点验清单表示例（见附录E）进行出入库点验。

* 1. 多机作业
     1. 多机作业形式

分为多机接力作业、交替作业和联合作业三种。宜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，地勤和辅助人员可交集统筹保障，一名驾驶员对应一台无人驾驶航空器。作业形式图参见附录F。

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：

1. 具体方法：第一台从装货点吊运到其安全权限位置（卸货点）完成卸货，再由第二台机从该点装货，继续向目标点靠近，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；
2. 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，各单元间、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。

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：

1. 具体方法：两单元以上在同一个工作面先后依次按约定区域、航线、方向交替飞行，不跨越区域，互不干扰；
2. 技术要求：每个单元飞行间隔视熟练程度而定，无人驾驶航空器飞行间距宜＞50m，飞行高度差宜5m～20m，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≥6m。

联合作业适用超过单机最大载重1倍以上且不可分解的单件物资吊运场景。操作如下：

1. 具体方法：采用两单元或多单元通过特定方式物理连接，组合成整体，形成科学平衡合力，统一指挥、同向飞行、同步移动、达到联合吊运单个大件物资目的。
2. 技术要求：
   1. 两单元联合：采用“一字形”方式，用一根轻质硬杆连接，两端用1.5m（小于桨幅1/2长度或硬杆长度的1/4）弹性吊绳（伸展幅度宜为15％，拉力强度大于裁量6倍）连接无人驾驶航空器下挂点，硬杆中点处连接物资，吊绳挂点应确保受力均匀。硬杆选材要求，中间受力强度应大于物资重量的4倍以上，长度大于最宽桨幅2倍；
   2. 三单元联合：采用等三角形方法，选用3根如“两单元联合”中的硬杆，每两端点固定连接成等三角形，三单元分别与三个角处连接，绳长如“两单元联合”，再从3根硬杆中间处引出3根吊绳并等距相连，该连接点的延长线挂吊运物资。三单元无人驾驶航空器应使用满电动力电池，同时起飞，各单元在指定位置就位悬停，姿态平衡，系统不报错时，进行物资上货，由指挥员下达指令，进行移动飞行，指令内容包括方向、高度、速度、加（减）速度控制力度等，各单元应保持动作同步、线性，不应急加速、急刹车。当动作不完全一致造成的位置差异时，由与无人驾驶航空器挂点的弹簧吊活动幅度进行弥补或缓冲。吊运物资总重量应小于各单元载重的总和；
   3. 四单元及以上联合：可参照进行。
      1. 多机作业原则

多机作业应遵循以下原则。

1. 选择相同型号机型。
2. 空域划分：
   1. 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；
   2. 提前协商好吊运作业区域，禁止闯入其他无人驾驶航空器作业区域。
3. 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。
4. 指挥沟通机制：
   1. 驾驶员通过对讲机实时沟通飞行状态和位置，由一位机长负责总体指挥；
   2. 遵守安全飞行约定。若空中出现故障，及时向指挥员报告，可优先迫降或退出编队航线进行避让。
5. 优先级机制：
   1. 空机让载重；
   2. 满电让低电量。
6. 多机编号：在机身处安装多色灯源（或发光数字），宜在前、后、左、右、下方均可观察。
   1. 安全管理
      1. 处置原则

宜包括以下原则：

1. 以人为本，优先保障人员安全，保证人员撤离危险区域。安全优先级为人员、公共设施、机器等。
2. 尝试远程控制无人驾驶航空器返航或迫降，优先选择空旷地带，减少经济损失。
3. 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，处理善后。
4. 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专业进行施救。
5. 若发生无人驾驶航空器伤人事故，第一时间救人，同时联系卫生、应急救援部门施救。
   * 1. 安全宣导

应对作业人员开展以下安全宣导：

1. 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，装卸货点区域打开范光灯；
2. 作业人员全程佩戴安全帽、反光衣；
3. 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；
4. 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、左右移动、悬停、注意、危险、投放、完毕等，手势动作对照表见附录G；
5. 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；
6. 对作业人员开展应急培训，如保持安全距离、紧急避险操作、等；
7. 吊运作业过程中更换地勤或辅助人员时应进行交接程序；
8. 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。
   * 1. 应急处理

包括但不限于：无人驾驶航空器失控(信号丢失、动力故障)、吊运物资脱落、人员受伤、设备起火/碰撞等。各应急处理如下：

1. 遥控器失联：无人驾驶航空器自动悬停→返航→迫降（按优先级执行）；
2. 空中单电机失效：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；
3. 单元故障：在多机作业场景中，若其中某一单元有机器故障、人员变动、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；
4. 高海拔地区作业时，在3000m以上载重应减少40％，在5000m以上载重应减少50％；
5. 载荷脱落：返航检查，损失评估，回收损件，处理善后；
6. 动力电池故障：严禁上机。动力电池电量低时，应参考系统指示极限值，调整载重；
7. 电量报警：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≤30％时，应规划电池更换时机；若剩余电量≤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（≤5％），应就近避开障碍物平坦区域迫降，将损失降到最低；
8. 吊绳缠绕障碍物无法摆脱：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；
9. 吊装物脱落：立即启动避让程序，地面人员划定警戒区；
10. 突发强风（＞13m/s）等情况，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
11. 外界干扰：当车辆、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（≥5m），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；若动力能量消耗殆尽时，就近避开障碍物安全区域降落。
    1. 维护与保养
       1. 日常维护

保持电池插口与分电板清洁。

检查机臂卡扣、桨夹、垫片、桨叶等，并及时更换变形、破损物料。

传感器以及遥控器故障报错等排查。

* + 1. 吊运系统检查

开展吊运系统锁扣、挂钩检查；

开展绳索磨损情况检查，更换绳子时宜选择直径＞6mm，重量＞500g，长度8m～15m，拉力强度＞6倍载重的绳子；

发现设备故障应随时排除，宜每50h要更换充电站润滑油，吊运系统宜每100h进行全功能性能测试，具体按生产厂家标准执行。

* + 1. 电池管理

电池电量≤30％时更换满电电池；

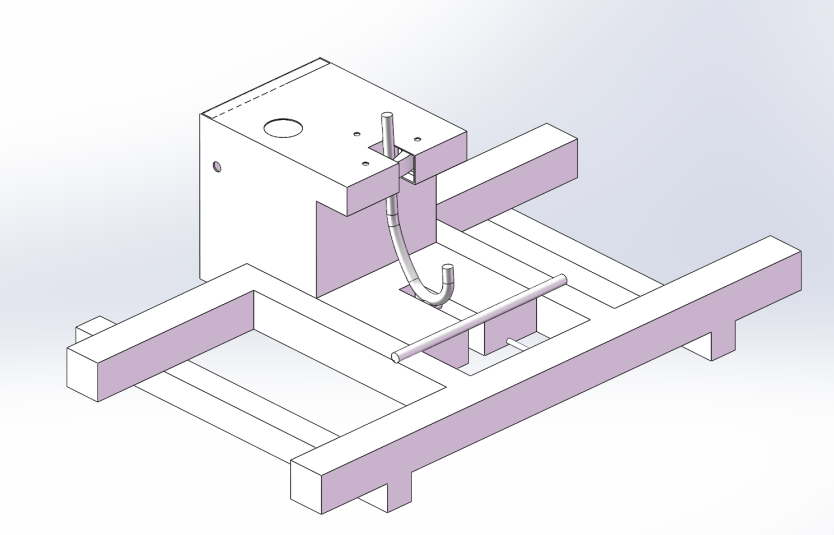
充电环境温度10℃～30℃为宜，电池温度不应超过80℃，单电芯压差≤0.2V，循环次数≥2000次，电量衰减＞30％应退役。

* 1. 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。

2. （资料性）  
   一种无人机抛投装置示例图

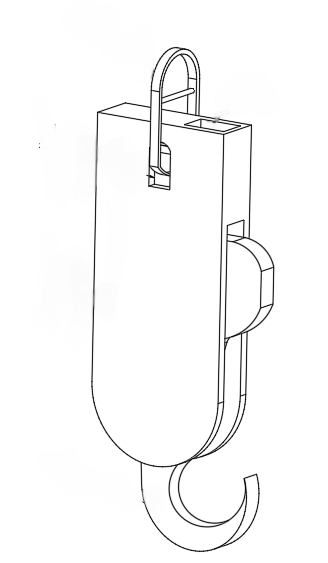
下面给出一种无人机抛投装置示例见图A.1。



* 1. 一种无人机抛投装置示例图

1. （资料性）  
   一种无人机用自动脱钩挂钩示例图

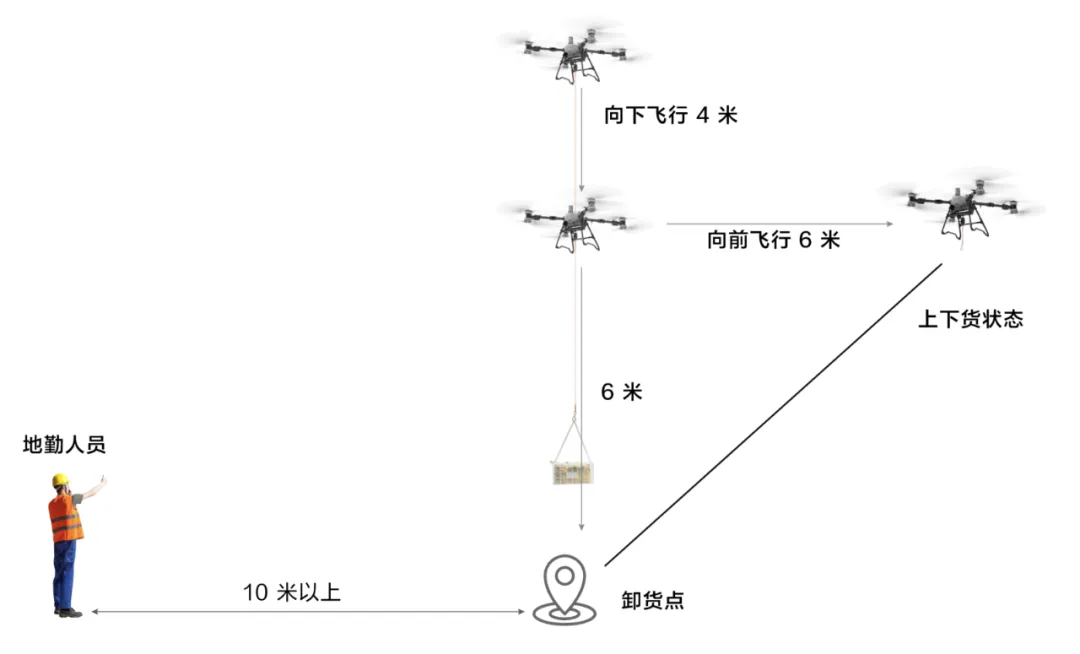
下面给出一种无人机用自动脱钩挂钩示例见图B.1。



* 1. 一种无人机用自动脱钩挂钩示例图

1. （资料性）  
   载荷释放操作示例

载荷释放操作示例见图C.1。



* 1. 载荷释放操作示例

1. （资料性）  
   项目验收确认单示例

下面给出项目验收确认单示例

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | | |

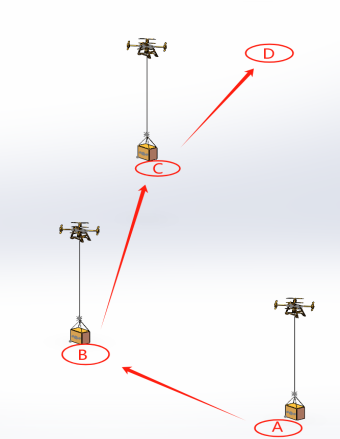
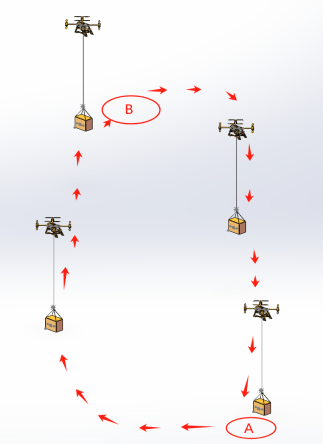
1. （资料性）  
   设备物资点验清单示例表

下面给出设备物资点验清单示例表

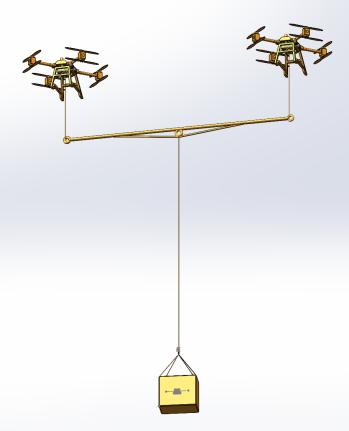
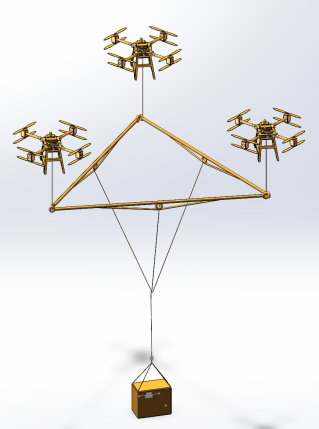
| 序号 | 设备名称 | 数量 | 性能状态 |  | 序号 | 设备名称 | 数量 | 性能状态 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 作业车辆 | 1 | 完好 |  | 6 | 充电站 | 2 | 保养期到 |
| 2 | 无人驾驶航空器 | 2 | 完好 |  | 7 | 吊运架 | 2 | 变形 |
| 3 | 动力电池 | 6 |  |  | 8 | 脱钩器 | 4 | 完好 |
| 4 | 遥控器 | 2 | 其他完好；1号故障 |  | 9 | 绳索 | 4 | 1根磨损 |
| 5 |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

1. （资料性）  
   作业形式图

作业形式见图E。

a）接力模式 b）交替模式

c）双机联合模式 d）三机联合模式

* 1. 作业形式图

1. （资料性）  
   手势动作对照表

手势动作对照表见表E.1。

* 1. 手势动作对照表

| 指令内容 | 上升 | 下降 | 左移动 | 右移动 | 悬停 | 注意危险 | 脱钩 | 完毕 | 返航 | 再试 | 起飞 | …… |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 手势动作 | 掌心向上静置 | 掌心向下静置 | 掌心向下，握拳，伸出拇指左右摆动 | 掌心向上，握拳，伸出拇指左右摆动 | 单手握拳 | 双手握拳交叉 | 手握拳展开 | OK手势 | 手向上指划圈 | 手向下指划圈 | 单手手指并拢举起 | …… |

参考文献

1. HB 8731 无人机系统维修手册编制规范
2. DG/T 157 农业机械北斗导航辅助驾驶系统
3. 工信部《微功率短距离无线电设备技术要求》（工信部〔2005〕423号）

