

ICS 国际标准分类号

CCS 中国标准文献分类号



团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

无人机辅助安装杆塔柔性防坠落装置 技术规范

Technical specification for flexible anti fall devices for UAV assisted
installation of towers

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前 言	II
无人机辅助安装杆塔柔性防坠落装置技术规范	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 无人机挂载模块 UAV mounting module	1
3.2 杆塔柔性防坠落装置 Flexible anti fall device for tower	2
3.3 柔性防坠导轨 Flexible anti fall guide rail	2
3.4 柔性导轨地面固定装置 Flexible guide rail ground fixing device	2
4 组成与结构	2
5 技术要求	2
5.1 无人机	2
5.2 无人机挂载模块	2
5.3 杆塔柔性防坠落装置	3
5.4 柔性防坠导轨	3
5.5 自锁器	3
6 检测项目及检测类型	3
6.1 检测项目	3
6.2 检测类型	5
7 使用条件	6
7.1 使用环境条件	6
7.2 使用设备条件	6
7.3 使用人员作业条件	7
7.4 使用对象条件	7
7.5 使用防护措施	7
7.6 使用保养	7
8 标志、包装、运输及贮存	8
8.1 标志	8
8.2 包装	8
8.3 运输与贮存	8
附 录 A 效果图	9
附 录 B 杆塔柔性防坠落装置作业前检查流程	11

附 录 C 杆塔柔性防坠落装置挂取操作流程	14
附 录 D 无人机杆塔柔性防坠落装置挂设飞行前检查单	15

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》给出的规定编写。

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这些专利的责任。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会×××（**专业**）工作组归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人(**请按对标准的贡献大小排列**)：...。

本文件为首次发布。

(**或本标准所代替标准历次版本发布情况**:
XXXXXX
XXXXXX。)

无人机辅助安装杆塔柔性防坠落装置技术规范

1 范围

本文件规定了无人机辅助安装杆塔柔性防坠落装置的组成与结构、技术要求、检测试验方法、使用要求、标志、包装、运输及贮存。

本文件适用于无人机辅助安装杆塔柔性防坠落装置。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 6095 坠落防护 安全带

GB 6096 坠落防护 安全带系统性能测试方法

GB/T 13035 带电作业用绝缘绳

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

GB/T 17626.9 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验

GB/T 17626.10 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验

GB/T 23469 坠落防护 连接器

GB 24537 坠落防护 带柔性防坠导轨自锁器

GB 30862 坠落防护 挂点装置

DL/T 878 带电作业用绝缘工具试验导则

DL/T 1476 电力安全工器具预防性试验规程

DL/T 1578 架空电力线路多旋翼无人机巡检系统

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 无人机挂载模块 UAV mounting module

适配安装于无人机，用于携带、安装和拆除杆塔柔性防坠落装置。

3.2 杆塔柔性防坠落装置 Flexible anti fall device for tower

安装在杆塔上用于高空作业人员上、下塔防坠落的工具，包含挂载装置、重力自锁结构。

3.3 柔性防坠导轨 Flexible anti fall guide rail

采用柔性承力绳索建立的一条连接高空作业人员上、下塔安全带的柔性轨道。

3.4 柔性导轨地面固定装置 Flexible guide rail ground fixing device

杆塔柔性防坠落装置的柔性防坠导轨固定在塔腿末端的装置。

4 组成与结构

无人机辅助安装杆塔柔性防坠落装置由无人机操作系统、无人机挂载模块、杆塔柔性防坠落装置、柔性防坠导轨及相关配件组成，示意图见附录A 图1所示，其结构细节示意图参见附录A 图2~4。

5 技术要求

5.1 无人机

无人机应满足以下要求：

- (1) 无人机安全负载能力应满足现场使用要求，在安全负载下无地效悬停时间不小于20min；
- (2) 具备定点悬停功能；
- (3) 测控传输距离应不小于1km；
- (4) 应具备低电压报警功能；
- (5) 应抗电磁干扰性能满足，6.1.2.2要求；

(6) 飞行性能应满足瞬时风速不大于8m/s情况下，无人机操作系统悬停水平偏移应不大于 1.5m、标准差不大于 0.75 m，垂直偏移应不大于 3m、标准差不大于 1.5 m,从电池电量 100%开始，其(搭载标配任务载荷情况下)有效悬停时间应不低于 25 min。

5.2 无人机挂载模块

无人机挂载模块应满足以下要求：

- (1) 应采用单段式或多段式连杆结构，具备一定的抗摇摆能力；
- (2) 无人机安装固定部分应适配多种无人机机型；
- (3) 宜具备抛投功能，保证作业过程中无人机安全；

(4) 应搭载带向下拍摄功能的图传模块，可将无人机挂载装置和杆塔柔性防坠落装置的作业图像实时传输至地面端，通信距离应不低于200m，分辨率不低于1080P；

- (5) 挂钩处应具备防滑落功能，保证操作杆挂取装置时不会发生装置侧翻掉落等情况；
- (6) 电磁兼容性应符合6.1.3.2的要求；
- (7) 应采用高强轻质材料制成，表面光滑。

5.3 杆塔柔性防坠落装置

杆塔柔性防坠装置应满足以下要求：

- (1) 应具备与无人机挂载模块钩挂、脱离的功能，且具备误操作防护功能，避免非预期脱离；
- (2) 应具备柔性防坠导轨可靠连接的部件或具备导引绳牵引柔性防坠导轨的滑轮；
- (3) 连接机构设计应避免重力自锁结构重心不稳；
- (4) 重力自锁机构应可在角钢上自行锁定，不意外脱离；
- (5) 与塔材接触部位应采取防磨、防滑措施；
- (6) 重力自锁结构动态性能应满足，6.1.4.3要求。
- (7) 静态性能应满足，6.1.4.4要求；
- (8) 耐腐蚀性能应满足，6.1.4.5要求；
- (9) 应采用铝合金等高强轻质材料制成，表面光滑。

5.4 柔性防坠导轨

柔性防坠导轨应满足以下要求：

- (1) 宜采用合成纤维绳，表面应干燥、清洁，不应有明显磨损及切口，无断股或损伤；
- (2) 对于单人使用的坠落防护系统的柔性导轨，静态负荷性能应不低于 22 kN。在本文件6.1.4.3中配合顶部挂点装置的动态性能试验下，测试重物不应接触地面，不应与固定结构松脱，柔性导轨不应出现撕裂或断裂等现象；
- (3) 绝缘性能应符合GB/T 13035要求的绝缘柔性防坠导轨。

5.5 自锁器

- (1) 应符合GB/T 24537的检测要求；
- (2) 自锁器与柔性防坠导轨连接绳长度不应超过1m。

6 检测项目及检测类型

6.1 检测项目

6.1.1 检验环境

除环境影响试验之外，其他检验项目应在如下检验环境中进行；

- (1) 环境温度：15℃～25℃；
- (2) 环境湿度：25%～75%；
- (3) 大气压力：80kPa～106kPa；

注：对于基于某种原因，装置不能再上述条件下进行实验时，应该把实际气候条件记录在检验报告中。

6.1.2 无人机检测

6.1.2.1 外观及功能检查

检查杆塔柔性防坠落装置及各部件，符合本文件5.1的要求。

6.1.2.2 环境适应性试验

无人机的环境适应性试验按照以下要求进行：

- （1）无人机低温适应性试验依据 DL/T 1578—2021中6.2.1；
- （2）无人机高温适应性试验依据 DL/T 1578—2021中6.2.2；
- （3）无人机海拔适应性试验依据 DL/T 1578—2021中6.2.4；
- （4）无人机海拔抗风飞行性能试验依据 DL/T 1578—2021中6.2.5；
- （5）无人机和遥控手柄、地面站防护等级试验依据DL/T 1578—2021中6.2.7。

6.1.2.3 抗电磁干扰性能检查

（1）静电放电抗扰度：应进行GB/T 17626.2规定的试验等级为4级的静电放电抗扰度试验，试验结果评定应达到A级。

（2）射频电磁场辐射抗扰度：应进行GB/T 17626.3规定的试验等级为3级的射频电磁场辐射抗扰度试验，试验结果评定应达到B级。

（3）工频磁场抗扰度：应进行GB/T 17626.8规定的5级工频磁场抗扰度试验，试验结果评定应达到A级。

（4）脉冲磁场抗扰度：应进行GB/T 17626.9规定的试验等级为5级的脉冲磁场抗扰度试验，试验结果评定应达到A级。

（5）阻尼振荡磁场抗扰度：应进行GB/T 17626.10规定的试验等级为5级的阻尼振荡磁场抗扰度试验，试验结果评定应达到A级。

6.1.3 无人机挂载模块检测

6.1.3.1 外观及功能检查

检查杆塔柔性防坠落装置及各部件，符合本文件5.2的要求。

6.1.3.2 电磁兼容性应符合以下要求：

（1）静电放电抗扰度：应进行GB/T 17626.2规定的试验等级为4级的静电放电抗扰度试验，试验结果评定应达到A级；

（2）射频电磁场辐射抗扰度：应进行GB/T 17626.3规定的试验等级为3级的射频电磁场辐射抗扰度试验，试验结果评定应达到A级；

（3）工频磁场抗扰度：应进行GB/T 17626.8规定的5级工频磁场抗扰度试验，试验结果评定应达到A级。

6.1.4 杆塔柔性防坠落装置检测

6.1.4.1 外观及功能检查

检查杆塔柔性防坠落装置及各部件，符合本文件5.3的要求。

6.1.4.2 装配滑移

(1) 按照GB30862-2014中6.3装配滑移测试方法。杆塔柔性防坠落装置主体在水平布置的塔材上安装好后，沿垂直方向在1.0kN的测试负荷下保持1min后测量杆塔柔性防坠落装置主体的滑移距离，滑移距离应 $\leq (10 \pm 1)$ mm。

(2) 再与垂直方向呈15° 方向再加载1.0kN的测试负荷下保持1min后测量杆塔柔性防坠落装置主体的滑移距离，滑移距离应 $\leq (10 \pm 1)$ mm。

6.1.4.3 动态性能

按照GB30862-2014第6.4.2条B型挂点装置动态性能测试方法，对于有角钢适用范围的杆塔柔性防坠落装置主体，应在最大规格和最小规格模拟工装上均进行本试验。

6.1.4.4 静态性能

按照GB30862-2014第6.4.2条静态性能测试方法，测试负荷22kN，3min。加载速度不超过30mm/min，不应出现变形、碎裂等现象。

6.1.4.5 耐腐蚀性能

按照GB30862-2014第6.4.7条耐腐蚀性能测试方法进行，测试步骤如下：

- (1) 将挂点装置进行 (24 ± 0.5) h盐雾处理；
- (2) 取出后放置在 (20 ± 2) °C的环境中干燥 (60 ± 5) min；
- (3) 重复上步骤(a) ~ (b)；
- (4) 完成后观察并记录挂点装置情况；

注：必要时可将挂点装置拆卸。

6.2 检测类型

表1 杆塔柔性防坠落装置主体试验项目

试验项目		型式试验	出厂试验	验收试验	预防性试验
杆塔柔性防坠落装置	外观及功能	√	√	√	—
	装配滑移	√	—	—	—
	动态性能	√	—	—	—
	静态性能	√	√	√	√
	耐腐蚀	√	—	—	—

- 注 1：装置配套安全绳应避免受潮之后暴晒，应保存在干燥、阴凉、干净的环境。金属部件有明显破损、变形，安全绳、牵引绳等出现破损、发霉、断股等情况的应进行更换。
- 注 2：每年应对自锁器、安全绳、连接器、缓冲器、系带等部件进行一次预防性试验。试验参考《DL/T 1476 电力安全工器具预防性试验规程》。
- 注 3：动态性能测试存在破坏装置物理属性因素，因此除型式试验外，其他涉及装置检测后再次使用无需进行动态性能测试。

6.2.1 型式性试验

在下列情况下，应进行型式试验：

- (1) 新产品投产前的定型鉴定；
- (2) 产品的结构、材料或制造工艺有较大改变，影响到产品的主要性能；

型式试验按表1规定的试验项目进行，试验结果应满足本文件中的各项技术要求。

6.2.2 出厂试验

全部产品均应进行出厂试验，出厂试验按本文件表1规定项目由生产厂家进行，出厂试验不合格的产品不得出厂。

6.2.3 验收试验

验收试验按本文件表1规定项目或供货合同条款由用户或第三方进行。

6.2.4 预防性试验

预防性试验项目见表1，除按照DL/T 1476的要求以外，其它试验项目周期按12个月进行。

7 使用条件

7.1 使用环境条件

- 7.1.1 风力应不大于10.7m/s（5级）；
- 7.1.2 环境温度：15℃～25℃；
- 7.1.3 环境湿度：25%～75%；
- 7.1.4 大气压力：80kPa～106kPa；
- 7.1.5 无大风、大雨、大雾、冰雹等恶劣天气情况；

7.2 使用设备条件

7.2.1 使用前应通过查阅产品说明书、设备标识或相关检测报告等方式，核对无人机的负载能力、杆塔柔性防坠落装置主体的适用范围、柔性防坠导轨的长度、自锁器的适用范围，确保各设备参数匹配且满足本次作业要求；

7.2.2 杆塔防坠落装置应在不同形式杆塔及部位均能有效锁止。

7.2.3 杆塔柔性防坠落装置组件重量超过无人机安全负载能力时，宜采用导引绳传递的方式来安装柔性防坠导轨；

7.2.4 杆塔柔性防坠落装置使用前应查看试验合格标识，并进行外观检查，重点检查有无变形、裂缝和卡阻；

7.2.5 临近带电线路、设备作业时必须确认保持足够安全距离，同时采用绝缘柔性防坠导轨、绝缘升降绳；

7.2.6 所有接触杆塔表面的部件应使用如橡胶、硅胶等具有良好柔韧性和耐磨性的柔软材料进行包裹或覆盖，以减少摩擦和潜在的损伤。

7.2.7 配套使用的安全带应采用前胸挂点的坠落悬挂型安全带，性能应符合GB6095坠落悬挂用安全带的要求，连接器在22kN静荷载作用下，应无撕裂、破断现象；

7.2.8 采用顶部挂架方式的柔性防坠导轨沿杆塔塔身倾斜布置时，应配柔性防坠导轨底部固定、防止摆动功能的装置，如有底部固定装置其锁紧柔性防坠导轨张力 $\geq 22\text{kN}$ 。

7.2.9 采用顶部托绳架方式的柔性防坠导轨，应将柔性防坠导轨固定端与地面附近杆塔塔材可靠连接，连接装置应符合GB 30862或GB/T 23469的要求。

7.3 使用人员作业条件

7.3.1 严禁超2人及以上同时依托单根柔性防坠导轨进行攀登保护；

7.3.2 作业人员体重及可能携带备品、备件的重量总计值应不超过100kg；

7.3.3 确认杆塔柔性防坠落装置安全锁定后，再将柔性防坠导轨的末端在杆塔脚腿或地面张紧；

7.3.4 无人机操作时应提前规划飞行路径，在悬停和安装过程中，通过高精度定位系统和避障功能，确保装置与杆塔保持安全距离，避免造成撞击或摩擦，且操作人员应经过专业培训，具备应对突发情况的能力；

7.3.5 针对猫头型、V字型等脚钉方向在塔上有较大偏转的现场，可采用挂设多套装置协同应用的方式应对，更替安全绳的过程人员不能失保；

7.4 使用对象条件

7.4.1 沿杆塔设置柔性防坠导轨时，与垂直方向倾斜角应不超过 15° ；

7.4.2 防坠落装置与杆塔连接应安全可靠、构造简单，不改变或影响杆塔的正常使用寿命，不损害杆塔结构，且能适应目前国内常见的杆塔形式。

7.5 使用防护措施

7.5.1 采用柔性防坠导轨作为坠落防护措施时，应根据作业现场实际情况制定详细的应急救援技术方案，方案应包括应急响应流程、救援人员职责分工、与外部救援力量的联络方式等内容。同时，应配备满足现场救援需求的应急救援装置，如救援绳索、担架、急救药品等。

7.6 使用保养

7.6.1 定期对杆塔柔性防坠落装置进行检查，详细记录检查结果，包括部件的状态、是否存在松动、损坏或腐蚀现象等，确保所有部件均处于良好状态；

7.6.2 定期检查杆塔表面的防腐层，重点检查防腐层是否有起皮、脱落、起泡、锈蚀等损坏情况，如有损坏应及时进行修补。

8 标志、包装、运输及贮存

8.1 标志

8.1.1 应在明显位置固定产品标牌，其要求应符合GB/T 13306的规定；

8.1.2 应采用激光蚀刻或压铸等不易磨损的方式，清晰注明适用角钢的范围，包括角钢的型号、规格尺寸等，确保在装置使用过程中易于识别；

8.2.3 标牌应有下列标志内容：

- (1) 产品名称和型号；
- (2) 生产厂名或商标；
- (3) 出厂编号；
- (4) 生产日期。

8.2 包装

8.2.1 包装箱应具备一定强度，可重复使用，采用缓冲材料将所有零部件垫稳、塞紧固定于包装箱内，各个部件分区格存放，防止运输、搬运过程中碰撞，防止灰尘污染和受潮，产品不应与包装箱箱体直接接触。

8.2.2 每个包装内应附有产品合格证、产品使用说明书、装箱单。

8.2.3 装箱单应与实物相符，其中应有：

- (1) 出厂编号、名称、数量、发货日期、检验人员的签字或盖章；
- (2) 包装箱外形尺寸：长（mm）×宽（mm）×高（mm）；
- (4) 单件重量（kg）。

8.3 运输与贮存

8.3.1 在运输过程中应轻装轻放，使用合适的装卸设备和工具装卸。除特殊规定允许外，不应与含有腐蚀性物质的货物混装，如无法避免混装，必须采取有效的隔离措施”；

8.3.2 应贮存在干燥、通风、避免阳光直晒和无腐蚀的存放的场所。

附录 A 效果图

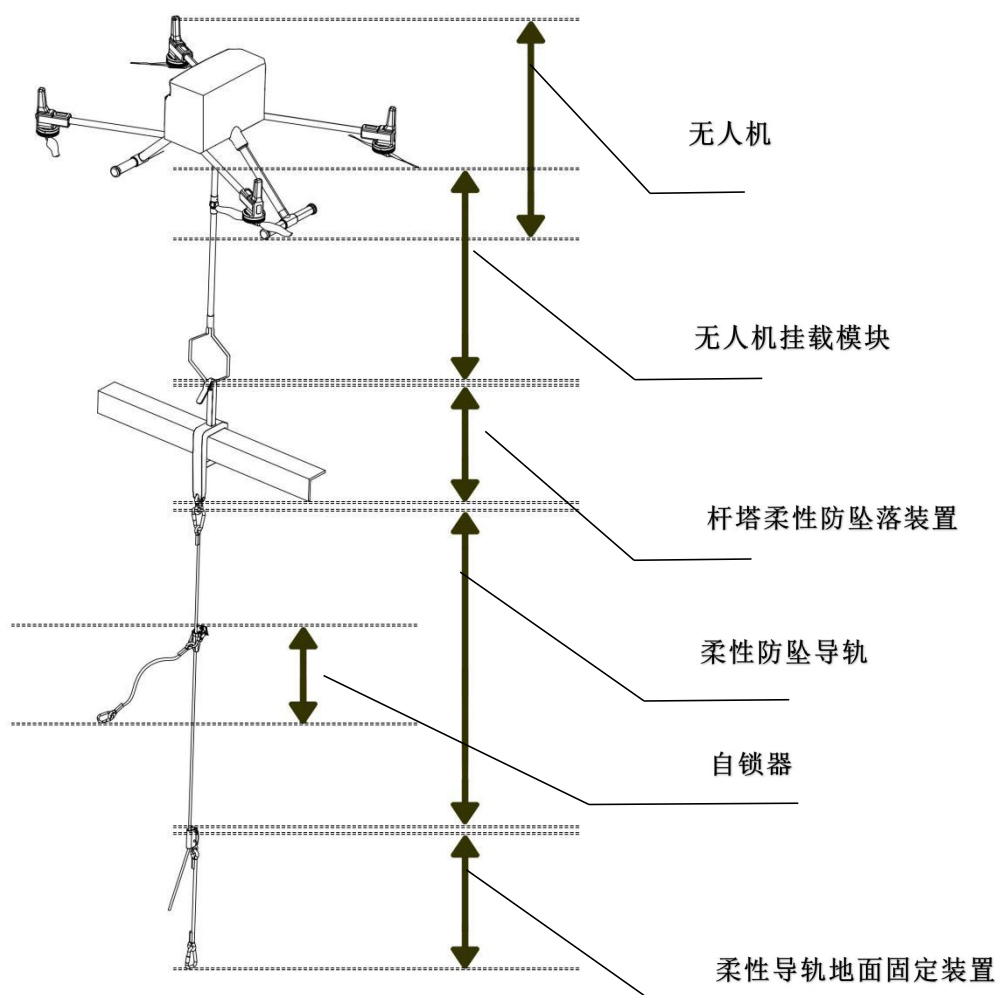


图 A. 1、无人机辅助安装杆塔柔性防坠落装置组成示意图



图 A. 2、同类产品 1

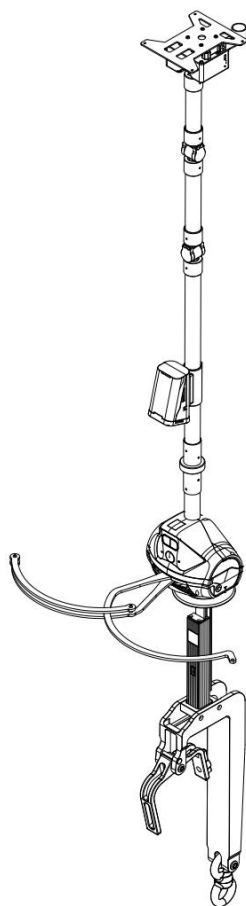


图 A. 3、同类产品 2



图 A. 4、同类产品 3

附录 B 杆塔柔性防坠落装置作业前检查流程

B.1 明确工作任务

作业前，作业人员应明确无人机柔性防坠落装置挂设任务内容、任务区段、作业时间等，确认作业范围地形地貌、交叉跨越情况、气象条件、许可空域、现场环境以及无人机柔性防坠落装置挂设系统状态等满足安全作业要求。作业人员应明确本标准化作业指导书规范要求，并根据线路检修任务合理制定整套作业计划。

B.2 现场勘察

根据任务要求和任务区段组织现场勘察，根据线路停电范围、杆塔塔型、交跨情况，以及无人机飞行能力（载荷能力、续航时长）、作业特点、飞行安全、作业效率、起降条件、安全距离、拟挂设位置角钢规格、机头朝向等信息综合分析，确定现场是否满足无人机柔性防坠落装置挂设条件，经项目管理单位项目负责人、工作负责人检查通过后，方可执行。

B.3 空域申请

（1）无人机柔性防坠落装置挂设作业应严格按国家相关政策法规、当地民航军管等要求规范化使用空域。

（2）工作任务签发前应确认飞行作业区域是否处于空中管制区：未经空中交通管制批准，不得在管制空域内飞行。

（3）作业执行单位应根据无人机柔性防坠落装置挂设作业计划，按相关要求办理空域审批手续，并密切跟踪当地空域变化情况。

（4）实际执行柔性防坠落装置挂设范围不应超出批复的空域。

B.4 设备准备

（1）应根据不同的作业任务领取相应的柔性防坠落装置、无人机成套设备，填写出入库单（详见附件二），并对所有设备进行检查确认状态良好。

（2）运检单位应在作业前准备好现场作业工器具以及备品备件等物资，完成柔性防坠落装置、无人机成套设备检查，确保各部件工作正常，领取使用含有人身险及第三者责任险的无人机系统，严格杜绝使用无保险的无人机系统，提前安排好车辆。

（3）出发前，工作负责人（或小组负责人）应仔细核对所需电量是否充足，各零部件、工器具及保障设备是否携带齐全，检查无误并签名确认后，方可前往作业现场。

B.5 现场环境检查

人员到达作业现场后首先判断作业现场环境是否符合作业需求，如遇雨、雪、大风（风力大于5级）天气禁止飞行。其具体步骤如下：

（1）使用测频仪检查起降点四周是否存在同频率信号干扰。

（2）使用风速仪检查风速是否超过限值。

- (3) 使用气温仪对环境气温进行检测，气温范围不得超过无人机说明书中规定的温度范围。

B.6 填写工作单、工作票

作业前，需填写架空输电线路无人机作业工作单。

工作单的使用应满足下列要求：

(1) 一张工作单只能使用一种型号的无人机柔性防坠落装置挂设系统。使用不同型号的无人机柔性防坠落装置挂设系统进行作业，应分别填写工作单。

(2) 一个工作负责人不能同时执行多张工作单。在柔性防坠落装置挂设作业工作期间，工作单应始终保留在工作负责人手中。

(3) 对同一条线路多个柔性防坠落装置挂设飞行架次，可共用一张工作单。

(4) 在工作票（施工作业票）备注栏中，填写临时防坠导轨装拆地点、时间、人员等关键信息。

B.7 起飞前检查

B.7.1 起飞点选择

根据杆塔所处的地形地貌，选择适宜的起降点。起降点与被挂设杆塔间宜保持通视且直线距离不大于50米。操作人员应与起降点保持足够的安全距离。

B.7.2 设置围栏和功能区

在起飞点设置安全围栏和功能区。功能区包括无人机起飞降落区，工器具摆放区等，各功能区应有明显区分。将无人机柔性防坠落装置挂设系统从机箱中取出，放置在各对应的功能区，起飞区域内禁止行人和其他无关人员逗留。

B.7.3 组装无人机

严格按照无人机说明书要求组装无人机，确保每个部件连接可靠，转动部件灵活可靠。不允许电池正负极错接，接触应保证良好。

B.7.4 飞机状态检查

(1) 开启遥控器电源，接通主控电源，操控手拨动遥控器模式开关检查飞行模式（手动、增稳和GPS模式，视飞机型号为准）切换是否正常，检查完成后接通动力电源。

(2) 待遥控器与飞机完成匹配后，按地面站提示依次检查电池电量、卫星颗数、磁力计、气压计、返航点、返航高度等。

B.7.5 柔性防坠落装置复核检查

(1) 现场复核确认柔性防坠落装置各部件齐全、螺栓、连接机构是否松动。

(2) 检查杆塔柔性防坠落装置是否变形或有裂纹，活动结构是否清洁，若活动状态不佳，需进行清洁和润滑处理，以确保能牢固固定被挂角钢。

(3) 对装置所挂锚点的角钢进行现场观察，确保所挂角钢的规格型号、角钢朝向符合设备挂接的要求。

(4) 检查其余配件是否有破损、缺失。

- (5) 检查安全绳、一字型挽索是否有破损、发霉等异常情况。

附录 C 杆塔柔性防坠落装置挂取操作流程

C.1 杆塔柔性防坠落装置挂载流程

(1) 在符合无人机挂载作业条件后，将杆塔柔性防坠落装置挂于挂钩上，检查杆塔柔性防坠落装置与挂钩的连接部位，确保连接牢固，无松动迹象，挂钩的闭锁装置正常工作。

(2) 若需抛投导引绳，通过遥控器操控搭载设备的无人机飞至预定点周边合适位置。在 APP 端控制抛投机构，依次按下抛绳 1、抛绳 2，先后将两导引绳轮抛投到地面。在抛投导引绳和操作无人机过程中，现场人员应远离无人机飞行路径和抛投区域，避免发生意外。

(3) 通过观察无人机的监控视频，实时调整防坠落装置姿态，使其长边靠近角钢缓慢下降进行挂靠。在重力作用下，装置的连杆自锁机构会自动环抱并锁紧角钢，完成固定。

(4) 通过地面终端视频图像，仔细观察杆塔柔性防坠落装置的安装状态，确认装置已牢固安装在角钢上，且各部件连接正常。然后，按照预设的操作流程，在无人机操控界面上执行相应指令，使操作杆缓慢脱离杆塔柔性防坠落装置。脱离完成后，操作无人机按照安全航线返回地面。

(5) 地面人员将牵引绳的一端与安全绳可靠连接，拉动牵引绳使安全绳上升并越过防坠落装置的滚轮，直至拉至塔底地面，随后将牵引绳收纳入卷筒。

(6) 将速差防坠器通过安全扣与一字型挽索连接，一字型挽索一端固定在安全带背部挂点，另一端用于挂、摘速差式防坠器。在挂、摘速差式防坠器时，作业人员可将连接绳拉至身体侧前方，目视进行操作，确保连接可靠。最后将安全绳尾端固定在杆塔离地 1~2 m 处，准备完成后即可进行登塔作业。

C.2 杆塔柔性防坠落装置拆卸流程

(1) 在确认符合无人机拆卸作业条件后。

(2) 登塔作业完成后，解开固定于杆塔离地 1~2 米处的安全绳，拉动一端使安全绳全部落到地面，并将安全绳规则缠绕收纳，避免安全绳打结、磨损。

(3) 无人机挂载装置安装固定至无人机。

(4) 缓慢移动无人机靠近防坠落装置，使挂钩有效钩住连接机构，通过监控画面确认挂钩完全卡入连接机构，且闭锁装置正常工作，确保连接牢固可靠。再次检查防坠落装置与挂钩的连接情况，确认无误后，控制无人机上升，搭载装置返回地面。

(5) 降落时，通过无人机将装置缓慢下降与地面接触，然后向前（或后）微调无人机，使装置缓慢平稳落地。

(6) 取下防坠落装置，对其外观进行初步检查，查看是否有损坏、变形等异常情况，若有，详细记录损伤情况。关闭所有设备的电源，将杆塔柔性防坠落装置及其相关配件收纳进收纳箱，同时清点防坠落装置及相关配件，确保无遗失或未收纳。整体确认无误后，完成作业。

附录 D 无人机杆塔柔性防坠落装置挂设飞行前检查单

无人机杆塔柔性防坠落装置挂设飞行前检查单

1. 现场环境检查		
序号	检查内容	检查确认
1.1	使用风速仪检查风速是否超过限值。	
1.2	使用测频仪检查起降点四周是否存在同频率信号干扰	
1.3	评估微地形（垭口、山区、连续上下坡）是否存在上升、下降气流等对飞行安全存在隐患的情况	
1.4	其它	
检查人签名		
2. 无人直升机系统检查		
2.1	机体检查	
2.2	发动机检查	
2.3	电气检查	
2.4	其它	
检查人签名		
3. 任务载荷系统检查		
3.1	任务设备中相机等设备正常，电池电量充足	
3.2	任务设备与无人直升机电气连接检查	
3.3	开机后任务设备操控是否正常	
3.4	金属部件有无明显破损、变形，安全绳、牵引绳有无出现	

	破损、发霉、断股等情况	
3.5	其它	
检查人签名		
以上统检查完毕，确认无误，工作负责人签名后方可起 飞作业		工作负责 人