

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

机载智能型激光清除电网异物装置 技术规范

Technical specification for laser removal of foreign objects
from power grids

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义下列	2
3.1 机载激光器安装模块 Airborne laser installation module	2
3.2 机载激光器吊舱模块 Laser Pod Module	2
3.3 激光器吊舱地面通讯基站 Ground Communication Base Station	2
3.4 机载激光器吊舱地面控制系统 Laser Pod Ground Control System	2
3.5 激光器吊舱载体 Laser Pod Carrier	2
4 结构与组成	3
4.1 系统组成	3
4.2 机载激光器安装模块	3
4.3 机载激光器吊舱模块	3
4.4 激光器吊舱地面通讯基站	4
4.5 激光吊舱地面控制系统	4
5 技术要求	4
5.1 一般要求	4
5.2 机载激光器安装模块	4
5.2.1 结构要求	4
5.2.2 性能要求	4
5.3 机载激光器吊舱模块	5
5.3.1 结构要求	5
5.3.2 性能要求	5
5.4 激光吊舱地面通讯基站	6
5.4.1 结构要求	6
5.4.2 技术要求	6
5.5 激光吊舱地面控制系统	6
5.5.1 实时监控	6
5.5.2 智能跟踪锁定	6
5.5.3 激光发射控制	7
5.5.4 校准和设置	7
5.6 激光吊舱载体要求	7
5.6.1 适配要求	7
5.6.2 性能指标	7
5.6.3 功能要求	7
5.7 装置安全管控功能要求	8
6 使用注意事项	8
7 检验项目及要 求	9
7.1 检验环境	9
7.2 检验	9
7.2.1 外观检验	9
7.2.2 结构检验	10
7.2.3 激光性能检验	10
7.2.4 机械性能检验	10
7.2.5 通讯性能检验	10
7.2.6 自动跟踪功能检验	11
7.2.7 激光校准检验	11
7.2.8 安全管控功能检验	11
7.3 检验规则	12
7.3.1 总则	12
7.3.2 型式试验	12
7.3.3 出厂试验	12
7.3.4 验收试验	12

	7.3.5 预防性试验	13
8	标志、包装、运输及贮存	13
	8.1 标志	13
	8.2 包装	13
	8.3 运输与贮存	13

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。

机载智能型激光清除电网异物装置技术规范

1 范围

本文件规定了机载智能型激光清除电网异物装置的组成和定义、功能及技术要求、试验项目及要 求、使用注意事项、标志、包装、运输及贮存。

本文件适用于多旋翼无人机的机载智能型激光清除电网异物装置。

2 规范性引用文件

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 7247.1 激光产品的安全第1部分：设备分类、要求和用户指南

GB 10320 激光设备和设施的电气安全

GB/T 13739 激光光束宽度、发散角的测试方法以及横模的鉴别方法

GB/T 13863 激光辐射功率和功率不稳定性测试方法

GB/T 15175 固体激光器主要参数测量方法

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 38058 民用多旋翼无人机系统试验方法

DL/T 2422 架空输电线路飘挂物激光清除作业技术导则

3 术语和定义下列

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 机载激光器安装模块 Airborne laser installation module

机载激光器安装模块是一套用于连接无人机载体和激光器吊舱模块的安装结构件。

3.2 机载激光器吊舱模块 Laser Pod Module

激光器吊舱模块是一套对电网挂线异物进行瞄准、跟踪、清除的装置，并能减缓激光器吊舱载体飞行过程中产生的震动。由四类激光器、发射头、三轴自稳云台和减震装置组成。

3.3 激光器吊舱地面通讯基站 Ground Communication Base Station

激光器吊舱地面通讯基站是一种用于地面控制终端与机载激光器吊舱模块之间的信息交互和远程控制的模块，由地面无线数据传输设备、网络设备、供电模块、显示屏等组成。

3.4 机载激光器吊舱地面控制系统 Laser Pod Ground Control System

机载激光器吊舱地面控制系统用于地面操控端控制机载激光器吊舱模块，具备实时监控、智能跟踪锁定、激光发射控制、校准设置等功能，由地面操控终端应用程序和激光器吊舱远程控制程序组成。

3.5 激光器吊舱载体 Laser Pod Carrier

激光器吊舱载体是一款大载重、多旋翼无人机，工作中携带机载激光器吊舱飞行至工作位置，实现电网挂载异物远距离空中快速清除。

4 结构与组成

4.1 系统组成

机载智能型激光清除电网异物装置由机载激光器安装模块、机载激光器吊舱模块、激光吊舱地面通讯基站、机载激光器吊舱地面控制系统、激光器吊舱载体组成。

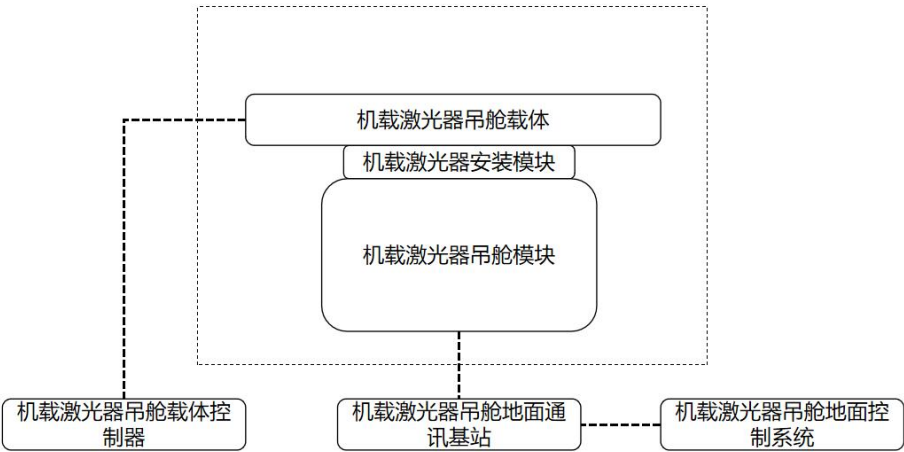


图 1 机载智能型激光清除电网异物装置架构图

4.2 机载激光器安装模块

激光器安装模块是用于连接机载激光器吊舱模块与激光吊舱载体的一套连接机构，采用高强度、轻质材质，能承受不小于1.2倍的机载激光器吊舱模块重量。

4.3 机载激光器吊舱模块

机载激光器吊舱模块由激光器、三轴自稳云台、发射头组成。

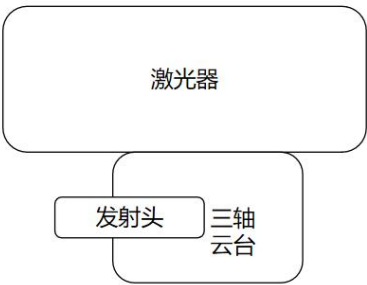


图 2 机载激光器吊舱模块示意图

4.4 激光器吊舱地面通讯基站

激光器吊舱地面通讯基站集成远程无线通讯模块、激光器吊舱模块控制终端，具备2.4GHz和5.8GHz网络通信频段，通讯带宽满足视频传输和实时控制需求。

4.5 激光吊舱地面控制系统

激光吊舱地面控制系统应具备实时监控、智能跟踪锁定、激光发射控制、校准设置、安全管控等功能。

5 技术要求

5.1 一般要求

- a) 为适应轻量化要求，所有模块结构材质应采用轻质、高强度材质。所有模块总重量不超过载具最大承载能力的80%。
- b) 所有模块外表面应平整光滑、无损伤。
- c) 所有模块之间安装应保证整体结构牢固、机械性能可靠。
- d) 电池应采用整体封装插拔结构，并设计有锁死机构，具备防脱落功能。
- e) 整机紧固螺丝均应画出配合标记。
- f) 整机插接位置均应标明插接方向，防止反插。

5.2 机载激光器安装模块

5.2.1 结构要求

- a) 机载激光器安装模块与机载激光器吊舱模块挂接应采用快速拆装结构。快速拆装结构采用整体设计，并设计定位、锁死机构。
- b) 机载激光器吊舱模块应采用快速拆装结构与机载激光器安装模块相连接，挂结构无松动。
- c) 机载激光器安装模块和机载激光器吊舱模块挂接部位应有明显标识和安装方向指示。

5.2.2 性能要求

机载激光器安装模块应能承载不小于1.2倍的机载激光器吊舱模块重量。

5.3 机载激光器吊舱模块

5.3.1 结构要求

- a) 机载激光器安装模块应合理布置，挂载激光吊舱模块后整机重心应位于无人机正中间下方位置，确保无人机飞行稳定。
- b) 激光器吊舱发射头适配测距仪、激光准直器、高清相机。
- c) 激光吊舱三轴自稳云台外壳应采用铝合金轻质材料。

5.3.2 性能要求

- a) 激光器功率应不小于200W。
- b) 激光波长：应采用 $1080 \pm 10\text{nm}$ 。
- c) 激光吊舱供电电源：宜采用可拆卸、充电电池，满功率持续工作时间 $\geq 15\text{min}$ 。
- d) 测距仪工作范围应满足0~60m测距要求。
- e) 测距仪测量误差应不大于5cm。
- f) 相机具备10倍光学变焦能力，分辨率不低于720P。
- g) 相机帧率应不小于25fps。
- h) 激光准直器最远有效作用距离应大于等于30m。
- i) 角度控制范围：俯仰轴（上下）、航向轴（左右）和横滚轴（水平）旋转角度均不小于 30° 。
- j) 调节精度应不大于 0.01° 。
- k) 云台具有跟随模式（飞行时云台姿态同步跟随载机的俯仰、航向、横滚姿态）和锁定模式（云台姿态始终保持固定，不随着载机的姿态变化而改变）。
- l) 激光器吊舱模块应具备滤除20Hz以上的振动信号的能力。
- m) 工作状态下，激光光轴振动偏移角度应不大于 0.05° 。

5.4 激光吊舱地面通讯基站

5.4.1 结构要求

应体积小、重量轻，便于携带。

5.4.2 技术要求

- a) 供电电源：内嵌可充电电池。
- b) 供电时长：连续工作时间 $\geq 5\text{h}$ 。
- c) 最大通讯距离：无遮挡环境下 $\geq 3\text{km}$ 。
- d) 内置双频段无线通讯模块，频段为2.4GHz和5.8GHz。控制器使用无线接入地面通信基站时，最远接入距离不小于80米。

5.5 激光吊舱地面控制系统

5.5.1 实时监控

- a) 发射头中FPV摄像头视频，显示分辨率不低于720P，帧率不低于25fps，视频时延不大于300ms。
- b) 具备调节摄像头光学变焦能力，聚焦方式支持手动聚焦和自动聚焦。
- c) 实时显示工作状态信息。
- d) 实时显示激光吊仓装置到瞄准点的距离。
- e) 实时显示云台水平和垂直方向的偏角。
- f) 具备操作过程中屏幕截图和录像功能，可事后回放截屏和录像。

5.5.2 智能跟踪锁定

- a) 系统应具备对待清除物等目标进行智能跟踪、锁定的功能。
- b) 目标初始识别应采用自动识别或手动标记目标的方式。
- c) 目标确定后，应具备在持续跟踪期间对目标进行标识。
- d) 当激光器吊舱载体悬停状态下发生轻微漂移和震动时，发射头应能保持对初始目标的跟踪和锁定，激光出光点对目标的持续动态跟踪精度误差 $\leq 0.1^\circ$ 。

e) 在保持动态跟踪时，应可以人工实时动态调节目标跟踪点偏移量，对跟踪目标点进行精细修正。

f) 应具备在摄像头支持的任意倍率下进行自动跟踪锁定。

5.5.3 激光发射控制

a) 应具备远程调节激光器吊舱云台瞄准目标的能力。

b) 具备手动调节瞄准和自动跟踪、锁定目标的能力。

c) 具备目标标记后自动瞄准能力。

d) 终端操作软件应设置独立的激光器电源遥控开关和开关状态指示。

e) 激光出光时，可以实时动态调节出光功率；功率调节范围10%~100%。

5.5.4 校准和设置

具备任意倍率下准星校准功能。

5.6 激光吊舱载体要求

5.6.1 适配要求

a) 应选用多旋翼无人机。

b) 应至少配置一个单独的遥控手柄。飞行控制应通过遥控手柄或地面站上的专用按钮实现。

5.6.2 性能指标

a) 激光器吊舱载体最大承载能力不小于1.2倍激光器吊舱模块重量。

b) 满载飞行时间不小于18min。

c) 满载最大飞行距离不低于3km。

d) 满载最大飞行相对高度不小于500m

e) 满载抗风能力应不小于12m/s。

5.6.3 功能要求

a) 具备自检功能。

- b) 具备实时动态定位（RTK）功能
- c) 激光吊舱载体测控传输距离应不小于5km。
- d) 具备遥视功能，FPV相机分辨率不小于1080P。
- e) 应具备低电压报警功能。

5.7 装置安全管控功能要求

- a) 应具备账户密码登录检验功能。
- b) 应具备通信失联保护功能。当地面控制站和机载激光器吊舱通信失联100ms后，激光器应自动停止出光。
- c) 应具备短距离保护功能。当激光器吊舱模块与输电线距离低于5米时，系统自动报警并控制激光器停止出光。
- d) 工作模式下，激光照射点偏离目标 >0.5 米时，自动停止出光。
- e) 应具备异物入侵保护功能。打开异物入侵保护功能后，当有异物在0~20米进入限定区域屏幕范围内时，装置自动停止出光。
- f) 应具备低电压保护和报警功能。激光器供电电池剩余电量小于预留电量阈值时，装置自动停止出光并告警。

6 使用注意事项

- 6.1 使用环境：温度 -10°C 至 35°C ；相对湿度 $\leq 80\%$ ；海拔高度 $\leq 3000\text{m}$ 。
- 6.2 使用前应该检查外观，重点检查有无变形、裂缝和卡阻。
- 6.3 使用前应核对激光器吊舱载体的负载能力、激光清除吊舱装置主体的适用范围。
- 6.4 使用前应核对激光器吊舱载体与机载激光器吊舱模块连接的结构件是否稳定。
- 6.5 使用前应核对当地的法律法规，确保机载智能型激光清除电网异物装置的使用符合相关规定和标准。
- 6.6 使用前应观察环境，选择开阔、平坦、无遮挡物的空地作为起飞和降落点。

6.7 使用前应规划好作业路径，在带电线路、设备附近作业时必须确认保持足够安全距离。

6.8 使用机载智能型激光清除电网异物装置作业时，待清除物后方的60m内，不应有行人、可燃物及可能造成损伤的目标。

6.9 使用机载智能型激光清除电网异物装置作业时，待清除物下方不应有可燃物。

6.10 采用机载智能型激光清除电网异物装置作业时，应制定应急救援技术方案，并配备灭火器等应急救援装置。

6.11 机载智能型激光清除电网异物装置仅能应用于不带有绝缘层的输电线开展异物清除作业。

6.12 异物清除作业时，机载智能型激光清除电网异物装置与输电线的距离须满足行业内无人机作业相关规范要求。

7 检验项目及要求

为保障机载智能型激光清除电网异物装置的性能，应按如下规定开展检验工作。

7.1 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：

- a) 环境温度：15℃～25℃；
- b) 环境湿度：25%～75%；
- c) 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。

7.2 检验

7.2.1 外观检验

目视检查装置外观，应符合本文件 5.1 中要求。

7.2.2 结构检验

目视检查装置连接机构，应符合本文件 5.2.1、5.2.2、5.3.1、5.4.1 中要求。

7.2.3 激光性能检验

a) 按照GB/T 15175-2015第5.2条连续功率测试方法，应符合本文件5.3.2中a)项规定要求。

b) 激光器出光功率10%时，采用满足计量要求的光谱仪测量激光主机出光光波长，应符合本文件5.2.2中b)项规定要求。

c) 采用满足计量要求的光功率计测量激光主机100%出光时10米处和30米处的光功率，按照GB/T 15175-2015第5.2条连续功率测试方法，两处光功率差值应小于10米处光功率的10%。测试结果应符合本文件5.3.2中h)项规定要求。

7.2.4 机械性能检验

a) 将满足计量要求的倾角传感器粘贴于三轴自稳云台的三个端面，调整自稳云台三轴向运动到极限位置，记录极限位置的倾角并计算倾角变化，计算值即为角度控制范围。角度控制范围应符合本文件5.3.2中i)项规定要求。

b) 用PWM信号单次连续控制云台单轴向单一方向运动，根据云台与基准面的距离、PWM信号的连续控制次数，云台投影点在基准面上移动的距离。利用偏转角度/PWM信号的连续控制次数得到三轴自稳云台的调节精度，测量值应符合本文件5.3.2中j)项规定要求。

c) 将设备放在振动平台上，选择一个距离10米，面积为4平方厘米的跟踪目标，调节振动频为25Hz，瞄准准心不应偏移出目标物范围。

d) 装置与木板上的目标保持15米距离，在工作状态下，控制激光短时出光，后测量激光照射点与目标点的偏移差值，根据作业距离与测量偏差值计算激光光轴振动偏移角度，测量值应符合本文件5.3.2中m)项规定要求。

7.2.5 通讯性能检验

a) 无遮挡环境下，通讯中断时，记录通讯基站和激光器吊舱模块的GPS位置坐标，测算2点距离值是否大于3km。

b) 通讯中断时，记录通讯基站和激光器吊舱控制终端的位置距离，测算2点距离值是否 $>80\text{m}$ 。

7.2.6 自动跟踪功能检验

a) 在系统操作界面上操作，检查是否满足本文件5.5.2中a) b) c) 的规定。

b) 自动跟踪精度试验方法，瞄准10米外的1平方厘米靶标，以0.1米/秒的速度匀速运动靶标，观察十字准星距离图像上靶标瞄准点的距离是否在 ± 1 厘米范围内，符合本文件5.5.2中d) 的规定。

c) 自动跟踪功能试验，瞄准10米外的1平方厘米靶标，观察是否可以手动标记靶标或自动识别靶标瞄准，观察是否可以人工动态修正瞄准点，符合本文件5.5.2中e) 的规定。

d) 观察是否可以在任意倍率下操作自动跟踪功能，符合本文件5.5.2中f) 的规定。

e) 飞行时云台具备两种运动模式：跟随模式，跟随无人机方向，与机头方向保持一致；锁定模式，云台会保持固定的角度，即使无人机进行微小移动，云台的角度也不会受到影响，应符合本文件5.3.2中k) 项规定要求。

7.2.7 激光校准检验

30米以内任意位置摆放目标木板进行激光瞄准出光，在系统操作界面上，检查是否能进行在任意倍率下实现瞄准点与激光实际作用点的校准功能。

7.2.8 安全管控功能检验

a) 关闭激光器吊舱控制终端电源，模拟激光器吊舱控制终端和激光器吊舱模块通信失联情况，观察激光是否能在100ms后自动停止出光。

b) 观察实时测距数值，在距离低于5米时系统是否能自动报警并停止激光出光。

c) 在工作状态下，摄像头倍率为10倍时，在距离6m的一块木板上标注目标点，瞄准目标后出光，快速平行移动木板大于0.5米时，观察激光是否自动停止出光。

d) 采用木板模拟异物进入出光区域屏幕范围内，检查激光设备是否能自动停止出光。

7.3 检验规则

7.3.1 总则

机载智能型机载激光电网异物清除装置的检验包括型式试验、出厂试验、验收试验，试验项目应按照表2进行。

表 2 试验项目

序号	试验项目	试验分类			
		型式试验	出厂试验	验收试验	预防性试验
1	外观检验	√	√	√	√
2	结构检验	√	√	√	√
3	激光性能	√	√	—	—
4	机械性能	√	√	√	—
5	通讯性能	√	√	√	√
6	自动跟踪功能	√	√	√	√
7	激光校准	√	√	√	√
8	安全管控功能	√	√	√	√

7.3.2 型式试验

在下列情况下，应进行型式试验：

- a) 新产品投产前的定型鉴定；
- b) 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2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。

7.3.3 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2规定项目由生产厂进行，出厂试验不合格的产品不得出厂。

7.3.4 验收试验

验收试验按本文件表2规定项目或供货合同条款由用户或第三方进行。

7.3.5 预防性试验

预防性试验项目见表2，试验项目周期按12个月进行。

8 标志、包装、运输及贮存

8.1 标志

应在明显位置固定产品标牌，其要求应符合GB/T 13306的规定，标牌应有下列标志内容：

- a) 产品名称和型号；
- b) 生产厂名或商标；
- c) 出厂编号；
- d) 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板直接接触。

8.2.3 每个包装内应附有产品使用说明书、装箱单、产品合格证。

8.2.4 装箱单应与实物相符，其中应有：

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

8.3 运输与贮存

8.3.1 在运输过程中应轻装轻放，不应与含有腐蚀性物质的货物混装。

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（资料性）

作业流程

（1）起飞准备

观察作业环境：

a）现场勘察：检查起降区域是否平坦（坡度 $<5^{\circ}$ ）、无电线/树木等障碍物，半径20米内无行人或动物。

b）气象确认：无人机抗风等级需匹配，避免雨雪、大雾天气。

c）空域申请：在管控空域需提前获取飞行许可。

d）规范组装吊舱模块并进行通电检查。完成无人机指南针校准。

（2）空中作业

a）需操控无人机抵达预设作业坐标。

b）启动激光器控制软件，瞄准锁定目标，对目标实施精准清除。

（3）降落

作业完毕后规划安全返航路径，确保机体平稳降落至勘察合格的着陆区域，全程需严格遵守空域法规与设备操作规范。