

团 体 标 准

T/CES 112—2022

架空输电线路直升机机载激光雷达设备 技术规范

Technical specification for helicopter airborne LiDAR of transmission line

2022-06-22 发布

2022-06-24 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 设备技术指标.....	2
4.1 一般要求.....	2
4.2 激光扫描仪.....	2
4.3 定位定姿系统.....	3
4.4 数码相机.....	3
5 检查与检验方法.....	3
5.1 检查与检验原则.....	3
5.2 外观和资料检查.....	3
5.3 性能检验.....	3
6 使用、维护、定检与维修.....	4
6.1 使用.....	4
6.2 维护.....	4
6.3 定检与维修.....	4
7 标志、包装与运输.....	5
7.1 标志.....	5
7.2 包装.....	5
7.3 运输.....	5
附录 A（规范性附录） 机载激光雷达设备资料清单.....	6
附录 B（资料性附录） 机载激光雷达设备定检项目.....	7
附录 C（资料性附录） 机载激光雷达设备时寿件维修更换清单.....	9
附录 D（资料性附录） 机载激光雷达设备定检（维修）报告.....	10
附录 E（资料性附录） 机载激光雷达设备定检（维修）验收单.....	12

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电力不停电检修技术与装备工作组归口。

本文件起草单位：国网通用航空有限公司、国家电网有限公司华北分部、国家电网有限公司华中分部、国网山东省电力有限公司、国网四川省电力有限公司、国网甘肃省电力有限公司、国网山西省电力有限公司、北京远度互联科技有限公司、北京北科天绘科技有限公司。

本文件主要起草人：杜伟、武艺、刘嵩、孟小前、胡伟、李致东、刘健、谢俊、孙晓斌、李丹丹、郭利瑞、邱中华、王文卓、关少平、雷泽宇、王佳颖、方平凯、马春田、李俊磊、田茂杰、李赞、王宁、张益明、李敏、王浩、肖潇、连继荣、孙诗睿、程海涛、邹彪。

架空输电线路直升机机载激光雷达设备技术规范

1 范围

本文件规定了在有人驾驶直升机上安装的机载激光雷达设备技术指标、检查与检验方法、使用、维护、定检与维修和标志、包装与运输等。

本文件适用于可安装在有人驾驶直升机上进行交流 110kV 及以上、直流±400kV 及以上架空输电线路激光扫描作业的机载激光雷达设备（简称设备）。变电站（换流站）及其他电压等级输电线路机载激光雷达设备可参照使用。

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 13384 机电产品包装通用技术条件
- CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范
- DL/T 1345 直升机电力作业安全工作规程
- DL/T 1346 直升机激光扫描输电线路作业技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

机载激光雷达 **airborne LiDAR**

在航空平台上，集成激光扫描仪、定位定姿系统、数码相机和控制系统所构成的综合系统。

3.2

激光扫描仪 **laser scanner**

发射激光脉冲，通过记录激光脉冲从发射经目标物反射到接收单元的时间延迟，测定从发射点到目标发射点之间距离的测光测距系统。

3.3

定位定姿系统 **position and orientation system (POS)**

用于确定传感器空间位置参数和姿态参数的系统，一般由 GNSS 接收机和惯性测量装置集成。

3.4

视场角 **field of view**

激光束的扫描角，指激光束通过扫描装置所能达到的最大角范围。

3.5

瞬时视场角 **instantaneous field of view**

激光束发射时其发散的角度，又称激光发散角。

3.6

脉冲发射频率 **pulse repetition rate**

单位时间内激光扫描仪所能发射的激光束数量。

3.7

惯性测量单元 **inertial measurement unit (IMU)**

用于测定传感器在空间的姿态变化，包括俯仰角、侧滚角和航偏角。

3.8

定检 **regular checking**

根据机载激光雷达设备的投运时间及不同零部件的特性和损耗程度，按照特定的周期从电气、结构、功能等方面对设备进行全面定期检查，并对部分零部件进行维护或更换。

3.9

时寿件 **life-limited parts**

根据使用寿命对其进行定期维修或更换的零部件。

4 设备技术指标

4.1 一般要求

4.1.1 设备应包括激光扫描仪、定位定姿系统、数码相机等部件。

4.1.2 设备的重量、体积及抗震性应符合直升机机型的安（改）装要求，且应具有中国民航局颁发的适航证书。

4.1.3 设备工作温度应在 $-5^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ 之间、贮存温度应在 $-10^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$ 之间。

4.1.4 设备工作峰值功率应小于 400W。

4.1.5 设备应具有反接保护、保险等供电安全保护机制，防过电流、过电压。

4.1.6 设备防护等级不应低于 IP54。

4.1.7 设备监控系统应显示激光扫描仪、定位定姿系统、数码相机等部件的实时工作状态。

4.1.8 设备宜配备激光扫描作业的导航装置，具备显示飞行对地高度、偏航距离、飞行地速等功能。

4.1.9 设备自动化、智能化程度应较高，操作简单，易于监控，工作稳定，人工干预少。

4.1.10 设备应配备 POS 轨迹数据解算、激光点云原始数据解算等软件，配套软件（配件）应有相应的说明书及操作流程说明。

4.1.11 设备资料应备份存档，具体资料详见附录 A。

4.2 激光扫描仪

4.2.1 激光等级宜为 III 级及以上安全激光。

4.2.2 激光扫描仪最大脉冲发射频率不应小于 1 000kHz，且脉冲发射频率在 600kHz、目标反射率为 20% 时测距不应小于 400m。

4.2.3 激光扫描视场角不应小于 70° 。

4.2.4 在 200m 航高（离地面）及 75km/h 的速度情形下，按照 DL/T 1346 的有关规定，激光扫描仪单作业架次采集的数据点云密度平均不应低于 $100\text{points}/\text{m}^2$ ，最小不宜低于 $90\text{points}/\text{m}^2$ ；且应保证杆塔、绝缘子及导、地线完整，挂点等清晰可见。

4.2.5 激光瞬时视场角不应大于 0.5mrad。

4.2.6 激光扫描仪在 150m 测距时精度应优于 20mm。

4.2.7 激光扫描仪回波模式应为多回波，宜具有激光发射非二进制编码模式。

4.2.8 激光扫描仪测距精度和扫描测角精度应经过检校。

4.3 定位定姿系统

- 4.3.1 定位定姿系统中陀螺仪应为高精度陀螺仪。
- 4.3.2 定位定姿系统的侧滚、俯仰角精度应优于 0.005° ，航向精度应优于 0.008° 。
- 4.3.3 定位定姿系统中惯性测量单元 (IMU) 记录频率应高于 128Hz。
- 4.3.4 定位定姿系统配备的机载 GNSS 信号接收机应为高精度动态双频测量航空型接收机，有稳定的相位中心，能在高空、高速的环境下正常工作，数据采样频率不应小于 2Hz。
- 4.3.5 定位定姿系统配备的机载 GNSS 天线应具备跟踪 GPS、北斗、GLONASS、Galileo 等全球导航卫星信号的能力。
- 4.3.6 定位定姿系统应具有信号示标输入器 (event marker) 接口，能够将数码相机快门开启脉冲通过接口准确写入 GNSS 数据流，脉冲延迟一般不大于 1ms，特殊情况下可适当放宽。
- 4.3.7 定位定姿系统存储器应满足长时间记录和存储所有数据的容量，最小不宜低于 1GB。

4.4 数码相机

- 4.4.1 数码相机分辨率不应低于 4 000 万像素。
- 4.4.2 数码相机视场角不应小于 $65^\circ \times 45^\circ$ 。
- 4.4.3 数码相机焦距不应小于 24mm。
- 4.4.4 数码相机应进行标定检校，检校应符合 CH/T 8024 的相关要求。
- 4.4.5 数码相机曝光时间不应大于 1/1 000s。

5 检查与检验方法

5.1 检查与检验原则

- 5.1.1 设备验收时，应按照 5.2 和 5.3 进行检查与检验。
- 5.1.2 设备主要部件维修后或主要部件相对空间关系变化时，应按照 5.3 进行检验。

5.2 外观和资料检查

- 5.2.1 检查设备外观是否完整、干净，有无破损，各部件有无松动。
- 5.2.2 按照附录 A 检查设备资料的完整性。
- 5.2.3 根据设备说明书检查设备是否满足 4.1 要求。
- 5.2.4 设备主要部件性能检查：
 - a) 根据激光扫描仪说明书检查激光扫描仪技术指标是否满足 4.2 要求；
 - b) 根据定位定姿系统说明书或检定报告检查定位定姿系统是否满足 4.3 要求；
 - c) 根据数码相机说明书或检定报告检查数码相机是否满足 4.4 要求。

5.3 性能检验

- 5.3.1 设备性能指标应通过直升机试飞数据进行检验。
- 5.3.2 设备性能指标检验：
 - a) 按照 CH/T 8024 检校飞行方案进行检校飞行，并布设检校场地面检查点，检验设备性能指标；
 - b) 设备检校完毕后，激光点云与布设的地面检查点对比，高程中误差应小于 10cm；
 - c) 设备检校完毕后，交叉航线、平行航线重叠区域的地物点云数据平面误差不应大于 10cm，高程误差不应大于 10cm；
 - d) 设备检校完毕后，影像与点云数据之间套合误差不宜大于 30cm；

- e) 检校飞行时定位定姿系统的轨迹位置精度、姿态精度应与标称精度一致。

5.3.3 激光扫描仪性能指标检验:

- a) 按照典型激光脉冲发射频率、航高和速度进行试飞, 检验设备在目标不同反射率下的激光测距能力、激光脉冲发射频率、激光扫描仪视场角等指标;
- b) 根据飞行高度、激光脉冲发射频率、飞行速度检验激光点云密度是否满足标称指标;
- c) 根据激光扫描带宽和航高检验激光扫描视场角是否满足标称指标;
- d) 选取不同航高架次的同一区域数据检验激光扫描仪内部标定的可靠性。

5.3.4 按照激光扫描典型作业方式飞行, 检验激光扫描巡线性能:

- a) 检查激光点云数据的有效点密度, 检查杆塔、绝缘子及导、地线是否完整, 检查挂点是否清晰等;
- b) 数码相机分别采用定距、定时曝光, 根据曝光数量及位置的连续性、照片数量检查相机是否漏片; 根据像片质量检查数码相机质量。

5.3.5 系统稳定性、可靠性和操作性等性能检验:

- a) 检验设备安装是否合理、便捷、可靠;
- b) 检验设备防水防尘措施是否合理;
- c) 检验设备操作的稳定性、方便性、可操作性等。

6 使用、维护、定检与维修

6.1 使用

6.1.1 设备出入库时, 应填写设备出入库登记。

6.1.2 设备安装及拆卸时应严格按照其适航机型(号)规定的安装及拆卸方式进行安装和拆卸。

6.1.3 设备安装在室外停放的直升机上时, 遇到雨、雪、雾等天气时应及时将设备拆卸后装入包装箱内, 存放于室内, 拆卸时应按照设备说明书进行拆卸。

6.1.4 设备作业前的状态应符合 DL/T 1345 的有关要求, 使用时应严格按照设备说明书进行操作, 设备作业完毕后应及时罩上保护套。

6.2 维护

6.2.1 设备应严格按照设备说明书进行维护, 严禁私自拆卸设备内部部件。

6.2.2 作业前后应及时擦净设备上的尘埃或水汽。任务结束后设备应及时放在设备包装箱内, 且设备包装箱内应放置干燥剂。

6.2.3 设备包装箱应放置于通风、干燥阴凉、隔热、防火的场所, 周围无酸性气体、碱、有机溶剂及其他有害物质, 且温度应在 $-10^{\circ}\text{C}\sim+50^{\circ}\text{C}$ 之间。长期存放时应定期检查干燥剂干燥状态, 并根据干燥剂状态进行更换。

6.2.4 设备贮存时间满两个月, 应对其进行通电测试, 检查设备各部件是否正常。

6.3 定检与维修

6.3.1 应根据设备使用时长、各部件使用寿命及稳定性特点, 对设备各主要零部件运行状态和各项性能指标情况开展定检。对于线路接触不良、相机曝光异常或画面模糊不清等情况频繁发生时, 需要及时维修或更换这些易损易耗的线缆和相机等时寿件。

6.3.2 设备各部件定检分为 A、B 两类, A 类定检周期为 1 年, B 类定检周期为 2 年, 具体定检项目、内容和时长详见附录 B。

6.3.3 应监控设备使用情况, 视情况组织开展定检或时寿件更换。

- 6.3.4 设备的时寿件更换涉及数码相机，维修或更换时长详见附录 C。
- 6.3.5 设备现场出现故障无法排除时，应返厂进行维修。
- 6.3.6 设备在完成相应的定检和时寿件更换项目后，厂商应对设备开展相应的交付前测试，并将各项测试的结果与设备出厂指标进行比对，确保定检和时寿件更换项目的有效性，出具定检（维修）报告，定检（维修）报告模板见附录 D。
- 6.3.7 设备定检或维修时，若部件相对位置关系发生变化，除定检（维修）报告外还应出具设备检校报告，若更换相机或激光扫描仪还应出具相机或激光扫描仪内检校报告。
- 6.3.8 设备定检（维修）后需对设备进行验收测试，验收应从设备外观、性能、稳定性、配件数量等方面进行检查，定检（维修）验收单见附录 E。
- 6.3.9 设备定检（维修）完成验收后，相关资料进行备份存档。

7 标志、包装与运输

7.1 标志

- 7.1.1 设备上应标有产品名称、型号、商标和设备编号等。
- 7.1.2 说明书和包装箱上应标注产品名称、激光等级等标识。
- 7.1.3 设备连接线缆宜有连接示意标识。

7.2 包装

- 7.2.1 设备的包装应符合 GB/T 13384 的有关规定。
- 7.2.2 包装储运图示标志应符合 GB/T 191 的有关规定。
- 7.2.3 设备包装箱应有“精密仪器小心轻放”、“易碎”、“上下”、“不可倒置”、“防雨防潮”等标识。

7.3 运输

- 7.3.1 设备属于精密仪器，运输过程中应避免碰撞，运输时应有人员随同，且使用出厂时配备或自制的专用包装箱（盒）。
- 7.3.2 设备运输时应有防雨、防日晒、防撞击和防跌落等措施。
- 7.3.3 设备搬运和放置按照运输箱上的标志进行，严格遵守搬运规则。
- 7.3.4 设备装车应齐整、平稳、牢固，不得超高、超重，不允许和易燃、易爆、易腐蚀的物品同车装运。

附 录 A
(规范性附录)
机载激光雷达设备资料清单

机载激光雷达设备资料清单见表 A.1。

表 A.1 机载激光雷达设备资料清单

序号	名称	单位	数量	备注
1	设备性能检测报告	份	1	纸质版
2	设备说明书	份	1	纸质版或电子版
3	设备操作手册	份	1	纸质版或电子版
4	设备详细技术性能表	份	1	纸质版或电子版
5	设备配置清单	份	1	纸质版
6	激光扫描仪检定报告	份	1	纸质版
7	定位定姿系统检定报告	份	1	纸质版
8	数码相机检定报告	份	1	纸质版
9	随机软件操作说明书	份	1	纸质版或电子版
10	适航证书	份	1	纸质版
11	线缆接口说明书	份	1	纸质版或电子版
12	装箱清单	份	1	纸质版和电子版
13	设备出厂合格证和保修卡	份	1	纸质版
14	激光扫描仪、数码相机的安置误差表	份	1	纸质版和电子版

附录 B
(资料性附录)
机载激光雷达设备定检项目

B.1 机载激光雷达设备 A 类定检清单见表 B.1。

表 B.1 机载激光雷达设备 A 类定检清单

序号	定检项目	定检内容	定检时长 天
一	通信配件检查部分		
1.1	GNSS 天线	接头检查, 进行清理接头; 结构是否有裂痕, 进行保养维护; 对天线进行搜星测试, 确保数据质量	0.5
1.2	GNSS 天线线缆	设备线缆和航空接头检查, 是否老化严重, 是否破损, 是否存在挤压及压痕等	
1.3	相机 USB 线缆		
1.4	其他通信线缆		
二	电气配件检查部分		
2.1	电源控制单元	进行抗震性、稳定性测试, 老化或不稳定需更换	0.5
2.2	充电适配器	进行稳定性测试, 老化或不稳定需更换	
2.3	取电线缆	对线缆及接头检查, 老化严重需更换	
三	控制系统检查		
3.1	控制软件	软件序列号检查, 是否为最新的软件版本, 如果不是需要更新	0.5
3.2	系统环境	检查控制电脑性能、稳定性, 优化系统环境	
3.2	控制电脑	检查端口(网口、卡槽、USB)氧化松动, 若有问题需更换	0.5
四	其他配件检查		
4.1	转接板	进行外观检查、内部探伤, 锈蚀或出现裂痕需更换	0.5
4.2	防雨罩	进行检查, 如有损坏需更换	
4.3	螺栓+垫片+弹簧垫	到期进行更换, 并配备 1 套以上备件	
五	相机检查		
5.1	相机	镜头: 对相机快门次数进行检查, 若有问题进行维修	1
5.2		机身: 对反光镜进行检查, 若有问题进行维修	
5.3		后背: 对相机坏点进行检测, 若出现 2 处以上需更换后背	
5.4		检查相机卡槽是否磨损, 槽针是否弯曲或折断, 若是需维修	
5.5		检查相机卡是否有坏道, 若有需更换相机卡	
5.6		相机系统固件: 进行更新检查	
5.7		检查相机镜头是否跑焦、损坏, 必要时更换镜头	
5.8		相机畸变检校	
注: A 类定检需 3.5 天。			

B.2 机载激光雷达设备 B 类定检清单见表 B.2。

表 B.2 机载激光雷达设备 B 类定检清单

序号	定检项目	定检内容	定检时长 天
1	激光扫描仪	检查激光光源、强度、精度，确定激光衰减程度	2
2	定位定姿系统 (POS)	检查 POS 精度、稳定性，老化程度	2

注：B 类定检需 4 天。

附录 C

(资料性附录)

机载激光雷达设备时寿件维修更换清单

机载激光雷达设备时寿件维修更换清单见表 C.1。

表 C.1 机载激光雷达设备时寿件维修更换清单

序号	时寿件名称	时寿件寿命周期 次	维修时长 天
1	相机 (维修)	相机出现故障时需将设备送至厂家进行维修	3
2	相机 (更换)	相机曝光达到或接近寿命次数	5

附录 D
(资料性附录)
机载激光雷达设备定检(维修)报告

_____型机载激光雷达设备
定检(维修)报告

××××公司

××年××月××日

一、定检（维修）概况

简要介绍设备使用情况（使用时长、故障描述）、需要定检（维修）内容、达到的效果、定检（维修）总工时、总费用等。

二、定检（维修）方法

根据设备定检（维修）内容，详细介绍定检（维修）方法。

三、定检（维修）过程

详细记录定检（维修）工作过程。（现场照片、检查维修清单）。

四、出厂测试

（一）性能测试

定检（维修）内容完成后，测试内容的每一项与设备出厂性能进行对比，记录测试过程及测试结果。

（二）抗震及稳定性测试

在具有温度、湿度控制的实验室，使用震动平台、车载平台或无人机平台，模拟设备作业环境，进行不小于 3h 的设备正常运行的抗震及稳定性测试，记录测试过程及测试结果。

五、设备使用相关建议

根据定检（维修）情况，提出设备在使用、存放、运输等方面的注意事项，避免类似问题反复出现。

六、总结

给出定检（维修）结论。

七、附件

定检（维修）报价清单（含工时、详细部件编号）。

附 录 E
(资料性附录)
机载激光雷达设备定检(维修)验收单

机载激光雷达设备定检(维修)验收单见表 E.1。

表 E.1 机载激光雷达设备定检(维修)验收单

设备型号		定检合同编号		验收日期	
责任人	设备厂商		参加验收人员		
定检(维修)内容:					
验收确认明细					
明细内容				是否相符	附注
外观检查	1. 确认设备(含设备主要部件)编号			是□ 否□	
	2. 外包装(是否完好无损)			是□ 否□	
	3. 产品整机表面应清洁无凹痕、划伤、变形			是□ 否□	
	4. 零部件整体和元器件装配位置要牢固,不应有虚焊、折裂和机械损伤			是□ 否□	
配件和备件数量	根据定检(维修)前制定的设备配件清单,清点设备是否缺少相应的配件(含备件)			是□ 否□	
检校报告 (若需)	1. 更换激光扫描仪后需出具激光扫描仪内检校报告、设备检校报告			是□ 否□	如无此项检校科目,将“是否相符”项划掉
	2. 更换定位定姿系统(POS)后需出具设备检校报告			是□ 否□	
	3. 更换数码相机后需出具相机内检校报告、设备检校报告			是□ 否□	
	4. 激光扫描仪、定位定姿系统、数码相机间发生相对位置变动后需出具机载激光雷达设备检校报告			是□ 否□	
性能及稳定性测试	1. 设备安装通电后,电气配件(电源控制盒、取电线电缆、适配器)工作正常			是□ 否□	
	2. 控制电脑正常开启			是□ 否□	
	3. POS 正常,GNSS 天线接收数据正常			是□ 否□	
	4. 相机系统正常,USB 线测试正常			是□ 否□	
	5. 激光扫描仪及控制软件开启正常			是□ 否□	
	6. 控制电脑是否进行清理优化			是□ 否□	
	7. 模拟系统正常作业模式,整个系统工作正常运行 3h			是□ 否□	
遗留问题					
验收意见	验收签字:				

团体标准

架空输电线路直升机机载激光雷达设备技术规范

T/CES 112—2022

2022年7月第一版

*

北京西城区莲花池东路102号天莲大厦10层

邮政编码：100055

网址：<http://ces.org.cn/html/category/17060132-1.htm>

电话：010-63256990 63256997

版权专有 侵权必究