

团 体 标 准

T/CES XXXX-2022

架空输电线路固定翼无人机激光扫描数据 采集规范

Specification of the data collection by fixed wing Unmanned Aerial
Vehicle laser scanning for overhead transmission line

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 作业要求	2
5 作业准备	3
6 数据采集	5
7 数据整理与移交	6
8 安全保障要求	6
附录 A（资料性附录）巡检作业工器具	8
附录 B（资料性附录）GNSS 观测记录单	9
附录 C（资料性附录）设备操作记录单	10
附录 D（资料性附录）激光扫描作业数据记录单	1

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构与起草规则》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电力不停电检修技术与装备专业标准分会归口。

本文件参加起草单位：×××××××。

本文件主要起草人：×××××××。

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电工技术学会标准化中心。

输电线路通道固定翼无人机激光扫描数据采集规范

1 范围

本标准规定了固定翼无人机激光扫描输电线路的作业要求、工作准备、数据采集、成果整理和安全保障措施。

本标准适用于交流 110kV 及以上、直流±400kV 及以上架空输电线路固定翼无人机激光扫描作业。

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，仅所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/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范
GB/T 26859 电力安全工作规程 电力线路部分
GB/T 27919 IMU/GPS辅助航空摄影技术规范
DL/T 1482 架空输电线路无人机巡检作业技术导则
CH/T 8023 机载激光雷达数据处理技术规范
CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范

3 术语和定义

GB/T 2900.51确定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

激光扫描仪 laser scanner

激光扫描仪是一个复合系统，由多个部件组成。它通过记录激光脉冲从发射、经地面目标物反射到接收单元的时间延迟，可精确测定从发射点到地面反射点之间的距离，进而获取地面反射点的三维坐标。

3.2

机载定位系统 airborne global position system

适用于飞行平台的 GPS 接收机或接收模块，用于测定飞行器空间三维坐标，该设备应是高精度航空动态测量型 GPS 接收机。

3.3

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。

3.4

定位定向系统 position orientation system (POS)

由机载 GPS 接收机与 IMU 装置组成，用来测量目标物体每个时刻的空间位置和姿态角。

3.5

机载激光雷达系统 airborne light detection and ranging; airborne LiDAR

基于机载平台的激光雷达系统，其基本组成部分包括适用于机载环境的激光扫描仪、POS 系统、航空

数码相机等传感器。通过飞行测量作业，机载激光雷达系统可以高效、高精度地获取测量覆盖区域的三维点云数据。

3.6

点云 point cloud

以离散、不规则方式分布在三维空间中点的集合。

3.7

点云密度 density of point cloud

单位面积上点的平均数量。

注：一般用每平方米的点数表示（pts/m²）。

3.8

有效测距 effective ranging of the laser

激光扫描设备可以探测的距离。

3.9

CORS 系统

一个或若干个固定的、连续运行的 GNSS 参考站，利用现代计算机、数据通信和互联网（LAN/WAN）技术组成的网络，实时向不同类型、不同需求、不同层次的用户自动提供经过检验的不同类型的 GNSS 观测值（载波相位，伪距）、各种改正数、状态信息、以及其他有关 GNSS 服务项目的系统，如千寻等。

4 作业要求

4.1 人员要求

4.2.1 无人机作业人员应熟悉固定翼无人机飞行操作及应急处置方法，激光扫描作业方法和技术要求，了解激光扫描数据处理相关内容，通过相应固定翼无人机的操作培训，考试合格后持证上岗，应具备无人机基本的维护保养常识及技能。

4.2.2 应根据输电线路通道范围现场踏勘情况合理配置人员，每次作业应至少应配备2名人员。

4.2.3 固定翼无人机激光扫描作业机组应包括工作负责人和操控员，应掌握DL/T 2101规定的固定翼无人机巡检系统专业知识，作业分工如下：

a) 工作负责人全面负责现场负责输电线路激光扫描任务的总体协调，确认输电线路激光扫描作业计划，作业现场人员安全管理与内容分配，作业紧急情况处理或反应。

b) 操控员负责输电线路激光扫描飞行任务及空中作业安全管制；负责地面站、载荷及无人机航前检查；负责作业紧急情况操作和避险；遇到特殊情况，驾驶员有权终止输电线路扫描作业。

4.2.4 机组作业人员应熟悉巡视线路情况，并掌握GB 26859的相关要求。

4.2.5 机组人员作业前应进行安全、技术交底，熟悉工作内容、方法、流程及安全要求。

4.2.6 作业人员应身体健康，精神状态良好，作业前8小时及作业过程严禁饮用任何酒精类饮品。

4.2 设备要求

4.2.1 固定翼无人机激光扫描系统应包括无人机飞行平台、激光扫描系统、通信系统和综合保障系统。

4.2.2 无人机巡视系统应通过第三方检测机构的试验检测。

- 4.2.3 无人机飞行平台应为大中型垂直起降固定翼无人机，载重宜大于3kg，应采用纯电驱动，续航时间不应少于1.5h。
- 4.2.4 固定翼无人机巡检系统应满足DL/T 2101的规定，不同类型和配置的巡检系统应满足规定的续航时间、巡检范围和巡检精度要求。
- 4.2.5 无人机飞行平台宜装载飞行指示灯、机载追踪器和飞行记录仪。
- 4.2.6 无人机飞行平台应满足中国民航局有关规定要求。
- 4.2.7 无人机飞行平台动力电池应按照要求进行充、放电和性能检测，应避免高温环境下飞行或充电，低温环境下使用应保温措施。
- 4.2.8 无人机巡视系统宜购置机身险与第三方责任险。
- 4.2.9 激光扫描系统应具备良好的抗震性能，拆装方便。
- 4.2.10 激光雷达的有效测距能力应大于航线对地高度，有效测距能力不应低于300m。
- 4.2.11 机载GNSS接收机应为高精度动态测量型双频接收机，有稳定的相位中心，应在高空、高速的环境下正常工作，数据采样率应不小于2Hz，符合GB/T27919有关要求。
- 4.2.12 机载IMU的记录频率一般不低于128Hz，侧滚角和俯仰角的中误差不大于 0.01° ，航偏角的中误差不大于 0.02° 。
- 4.2.13 固定翼无人机激光扫描系统工作环境温度宜为 0°C – 40°C ，存储温度宜为 -10°C – $+50^\circ\text{C}$ 。
- 4.2.14 激光雷达设备检校应符合CH/T 8024的规定，相机检校应符合CH/Z 3005的规定。

4.2.5 地面GNSS基站要求

地面GNSS基站应符合以下要求：

- 1) 地面GNSS接收机应选择高精度实时静态双频GNSS接收机。
- 2) GNSS接收机的数据采样率应不低于机载GNSS接收机的数据采样率。
- 3) 地面GNSS接收机或CORS采样间隔不应大于1s，覆盖范围应大于无人机作业范围。
- 4) 地面GNSS宜配备外接电源，应做好防雨、防雷措施，作业时应有专人看守。

4.3 飞行要求

- 4.3.1 输电线路激光扫描作业过程中，应根据线路的不同电压等级设置无人机航线高度，并在无人机安全巡航速度内飞行。
- 4.3.2 作业过程中应监控飞行海拔高度与航线高度差距，关注航向指示角、横偏距、俯仰角及滚转角等参数在有效范围内。
- 4.3.3 作业过程中应时刻监控无人机动力电源、风速、航速、发动机转速、有效导航卫星数量等性能参数。
- 4.3.4 无人机激光雷达扫描输电线路时应在安全距离范围内且沿着输电线路方向，每条航线直线飞行时间不宜超过30min。
- 4.3.5 航线预规划时，如果遇到扫描线路转角大于 30° ，或连续沿单一方向飞行超过30min，应根据无人机巡航速度、最小转弯半径及周围环境沿线路外侧飞出航线并重新进入航线。
- 4.3.6 无人机不应在线路正上方盘旋飞行，禁止从建（构）筑物下方穿行。

5 作业准备

5.1 作业流程

无人机激光扫描作业流程见图1。

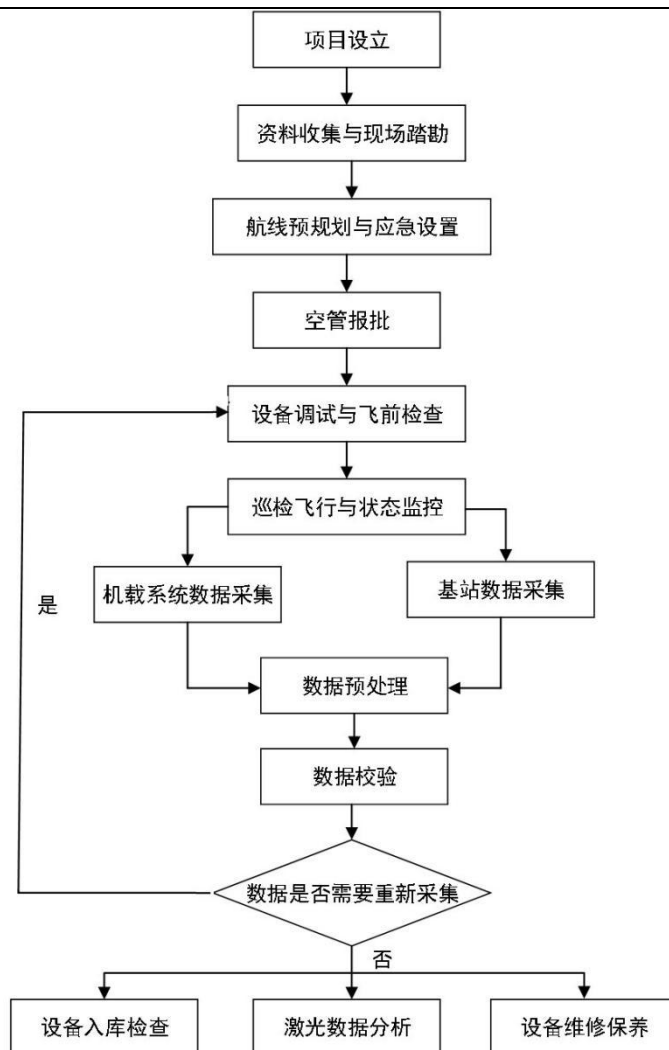


图1 无人机激光扫描作业流程图

5.2 资料收集及踏勘

5.2.1 资料收集应包括线路台账、线路平断面、气象环境等资料。

5.2.2 现场踏勘应根据现场净空环境，选取无人机起降点位置，起降点选取原则如下：

- 1) 起降点不应小于 20m²；
- 2) 无人机出航方向 700*200（长*宽）范围内不应有高于出航高度建/构筑物；
- 3) 起降点宜位于任务线路两侧 5 公里范围；
- 4) 起降点宜位于任务区域中部。

5.2.3 根据踏勘及调研收集资料，编写无人机作业方案、应急预案。

5.3 作业前准备

5.3.1 在作业前确保无人机地面站、基站及激光雷达扫描系统各项指标参数正常，仔细核对无人机所需电池电量充足，保障设备携带齐全（见附录 A）。

5.3.2 作业前核实巡检输电线路名称和杆塔号无误，并再次确认作业人员、天气和无人机状态适宜作业。

5.3.3 作业前应根据天气、空域计划制定合理的飞行计划。

5.3.4 作业前应进行安全交底、任务交底，明确工作内容、分工及安全注意事项。

5.3.5 作业前应见按照无人机起飞流程，做好飞行前检查，确保无人机处于适航状态。

5.3.6 作业前应联系线路运维单位，并告知飞行计划。

5.4 任务规划及应急设置

- 5.4.1 应明确作业内容，依据线路所处海拔高度、地形地貌、气象因素、人居环境等合理规划航线。
- 5.4.2 任务航线应位于已批复空域范围内，避开人口密集区、微气象复杂区域，不宜跨越高速铁路及公路。
- 5.4.3 无人机航线不应位于线路外侧导（地）线内部，应位于在导（地）线侧上方。
- 5.4.4 任务航线应结合杆塔台账及地表高程情况逐点检查，并结合激光器性能评估采集数据的有效性。
- 5.4.5 应结合无人机性能，设置掉高返航、一键返航、链路中断返航、低电压返航。

5.4 空管报批

- 5.4.1 执行作业任务前，应按照有关流程合法合规办理空域评估和申请，并应根据空域管理部门、当地政府或公安要求，完成无人机飞行备案工作。
- 5.4.2 作业前应按照当地军民航管制单位要求，开展空域计划申报、放行申请、飞行实施和动态报送工作。

6 数据采集

6.1 地面GNSS参考站布设

- 6.1.1 考虑观测备份和数据检核，在作业地区无 CORS 站情况下，需在测区内根据情况合理布置地面 GNSS 参考站，用于校正无人机飞行时的位置精度。
- 6.1.2 布设地面 GNSS 参考站时应选在卫星信号接收情况良好的开阔处，保证有效观测卫星数不少于 6 颗，卫星截止高度角不小于 15° ，且测区内任意位置与最近的地面 GNSS 参考站距离不应超过 30km。
- 6.1.3 地面 GNSS 参考站的架设应严格遵守 GB/T 18314 的有关规定和要求。
- 6.1.4 相对于无人机起飞时间，地面 GNSS 参考站 GNSS 接收机开机时间应提前 15min，关机时间应推迟 15min。
- 6.1.5 无人机激光扫描系统开始采集数据时，应同步进行 GNSS 数据采集，填写《GNSS 观测记录单》（见附录 B）

6.2 机载激光设备系统调试

- 6.2.1 激光扫描设备应接线正确、安装牢靠，满足无人机飞行环境需求。
- 6.2.2 地面检查时，应严格按照步骤对激光扫描设备进行检查，核实存储设备容量、地面站中各项参数，完成激光扫描设备初始化。

6.3 激光扫描数据采集

- 6.3.1 无人机起飞时，应远离人群，避免高大树木或建筑物遮挡，以免干扰 GPS 信号。
- 6.3.2 激光雷达系统开始数据采集后，必须要确认采集频率是否设置成功。
- 6.3.3 无人机起飞盘旋到高后，应先飞行“8字”航线后，再进入航线进行作业。
- 6.3.4 机载激光雷达系统扫描输电线路，进行激光点云数据、影像数据、GPS/IMU 数据、气象数据采集时，无人机驾驶员（数据采集员）应记录设备操作，填写《飞行记录单》（见附录 C）
- 6.3.5 无人机飞行过程中，无人机驾驶员（数据采集员）应时刻关注无人机飞行与导航参数、数据链状态、设备状态及指令信息。
- 6.3.6 无人机飞行过程中，无人机驾驶员（数据采集员）应时刻监控激光扫描设备各项指标参数，确保数据精度达到要求。
- 6.3.7 无人机降落后，应至少等候 5min，按照激光扫描系统、无人机的先后顺序关机断电。
- 6.3.8 作业过程应符合 DL/T 1482、CH/T 8024 的有关规定和要求。

6.4 作业质量事项

- 6.4.1 激光扫描数据采集结束后，应检查数据采集作业过程中是否出现设备断电等异常工况，并确认任务完成情况，检查各项数据记录完整性。
- 6.4.2 数据文件质量、数值应正常、完整，若出现数据记录缺失，应进行补飞或重飞。

7 数据整理与移交

7.1 数据预处理

- 7.1.1 数据预处理主要包括 POS 数据解算和激光点云数据解算。
- 7.1.2 POS 数据解算应将机载 POS 数据与地面 GNSS 基站数据或 CORS 站数据等进行联合解算，确定航迹线。
- 7.1.3 激光点云数据宜采用 las1.1 及以上标准格式。
- 7.1.4 数据检查应重点检查下列内容：
 - a) 应检查原始数据的完整性、完好性；
 - b) 应检查激光点云数据覆盖情况，杆塔区域点密度应不小于 100 点/m²；导地线挂点、绝缘子轮廓应完整、清晰，不应缺失，导、地线点云数据应完整，导线连续缺失不宜超过 7m，地线缺失不宜超过 10m；
 - d) 应检查影像质量和覆盖情况，不应缺失；影像画面质量包括色调、阴影等情况良好，无过度曝光或曝光不足的情况；航向重叠度应大于 30%。

7.2 数据备份

- 7.2.1 宜按照作业日期进行文件夹命名（如 20200301），并按照架次进行数据备份，文件结构应按照点云、影像和 GNSS 分别存储。
- 7.2.2 宜按照架次填写激光扫描作业数据记录单中数据采集信息部分，参见附录 D 激光扫描数据作业记录单。
- 7.2.3 数据备份应采用双备份，备份至不同存储介质上，并分开存放。

7.3 成果资料整理

- 7.3.1 成果资料应包括：激光点云数据、激光扫描航迹、GNSS 时间列表文件等。
- 7.3.2 对原始数据、中间数据、预处理成果数据进行分类保存与备份。

8 安全保障要求

8.1 故障处置

- 8.1.1 若无人机出现失去动力等机械故障，应控制无人机在安全区域紧急降落。
- 8.1.2 若无人机通信链路长时间中断，且未在电台超时极限内返航，应根据无人机失联地理坐标和机载追踪器发送的报文信息等及时寻找。
- 8.1.4 若激光扫描设备出现故障，且影响巡检作业质量时，应立即中止本次作业，操作无人机返航。
- 8.1.5 若无人机发生坠机事故，应立即上报并及时寻找，导出飞行记录、日志并分析事故原因。

8.2 设备安全

- 8.2.1 无人机和激光扫描设备运输过程中应做好防震等保护措施。
- 8.2.2 无人机、激光扫描设备、地面 GNSS 设备、电池等设备应在相应的环境温度、湿度等范围内存放。
- 8.2.3 无人机电池应做好充放电工作，长时间不用时应按照存储电压存放。
- 8.2.4 地面 GPS 参考站应派专人看守，并实时监测 GNSS 接收机的工作状态，做好防雨、防雷的准备措施。

8.3 作业安全

- 8.3.1 数据采集作业所涉及的电设备的操作安全指标都应遵守设备使用手册。
- 8.3.2 无人机飞行过程中，无人机驾驶员应时刻关注地面站无人机飞行状态及激光扫描设备工作状态。
- 8.3.3 作业现场禁止使用可能对无人机系统通讯链路产生干扰的电子设备。
- 8.3.4 起飞、降落点及航线应远离人群，必要时可设置安全警示区。
- 8.3.5 无人机任务航线应与任务线路保持足够的安全距离，同时应错开一定的水平距离。

8.4 应急处置

- 8.4.1 若作业区域天气突变，应及时控制无人机返航或就近降落，以确保无人机安全。
- 8.4.2 若作业区域出现其他飞行器，在确保安全后方可继续执行巡检任务，否则应采取避让措施。
- 8.4.3 若作业人员出现身体不适等情况，应及时控制无人机安全降落并使用替补作业人员；若无替补作业人员，则终止本次作业。
- 8.4.4 遇到影响无人机飞行安全的紧急情况下，应停止飞行作业。若无人机已起飞，应采取措施控制无人机返航或其他安全策略保证无人机安全。

附录A
(资料性附录)
巡检作业工器具

A.1 固定翼无人机巡检作业工器具见表 A.1 配置。

表A.1 巡检作业工器具

序号	名称	单位	数量
1	无人机	架	1
2	激光扫描系统	套	1
3	相机	套	1
4	基站及脚架	台	根据实际情况配置
5	机载电池	套	≥3
6	任务载荷电池	套	≥3
7	基站电池	块	根据实际情况配置
8	电池充电器	套	1
9	工作台	张	根据实际情况配置
10	笔记本电脑	台	1
11	相机读卡器	个	1
12	工具箱	套	1

附 录 B
(资料性附录)
GNSS观测记录单

B.1 GNSS 观测记录单格式见表 B.1。

表 B.1 GNSS 观测记录单

任务线路				观测日期			
天气情况				基站编号			
开机时间				关机时间			
开机天线高				关机天线高			
观测卫星数							
备注							

记录员：

附 录C
(资料性附录)
设备操作记录单

C.1 输电线路固定翼无人机激光扫描作业中,所有操作应严格按照要求进行,并将飞行与操作记录填写在设备操作记录单中,以便作业后进行数据管理,见附表 C.1。

表 C.1 设备操作记录单

开车时间		关车时间		操作员		记录员		基站负责		天气情况	晴
开设备时间		关设备时间		总时间		起降点		基站名称			
计划区段						作业区段					
序号	工作及飞行状态										
1											
2											
3											
4											
5											
备注											

填表说明:

- a) 应记录开车时间、关车时间、操作员、记录员、天气情况、开设备时间、关设备时间、总时间、起降场、基站 (CORS 站)、计划区段、作业区段、记录日期及架次等信息。
- b) 开车时间、关车时间、总时间落地后根据航务所发飞行报告填写。
- c) 开设备时间、关设备时间根据开关设备操作记录北京时间
- d) 计划区段、作业区段按照“江莲一线: 1-50[#]”格式填写
- e) 工作及飞行状态栏按照 UTC 时间填写,记录起飞、开激光器、调整相机参数、做 S、落地时间。
- f) 一架次扫描多条线路时,记录时写上当前扫描线路名称。
- g) 记录采集数据过程中发现的设备异常、地面及地物异常情况。

附录D
(资料性附录)

激光扫描作业数据记录单

D.1 输电线路固定翼无人机激光扫描作业后，需按规定要求将采集信息记录在表，见附表E.1。

表D.1 激光扫描作业数据记录单

采集数据信息												数据检查信息				
日期	架次	作业线路	杆塔号	起降点	补飞线路	补飞杆塔号	操作人	记录人	备份人	基站架设/备份人	备注	数据检查单位	数据检查人	数据检查时间	数据检查情况	备注
2016.10.15	S1	***	0001号—0097号	***												
2016.10.16	S1	***	0080号-0135号	***												
		***	0038号-0106号													
		***	0023号—49号													
	S2	***	0049号-0080号													
		***	0056号-0133号													