

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—2026

输电线路三维激光雷达监测系统技术要求

Technical requirements for three-dimensional laser radar monitoring system of
transmission lines

（征求意见稿）

2025 – XX – XX 发布

2025 – XX – XX 实施

中国西部开发促进会 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 缩略语 2

5 系统组成与分类 2

 5.1 系统组成 2

 5.2 系统分类 2

6 技术要求 2

 6.1 基本规定 2

 6.2 机载监测装置技术要求 3

 6.3 数据采集技术要求 4

 6.4 数据质量 5

 6.5 分析应用技术要求 5

 6.6 主站系统技术要求 6

 6.7 通信与数据安全 6

 6.8 环境适应性与可靠性 6

7 试验方法 7

 7.1 试验环境 7

 7.2 外观与结构检查 7

 7.3 功能与性能试验 7

 7.4 环境适应性试验 7

 7.5 可靠性试验 7

8 检验规则 8

 8.1 检验分类 8

 8.2 出厂检验 8

 8.3 型式检验 8

 8.4 交接检验 8

9 标志、包装、运输和贮存 8

 9.1 标志 8

 9.2 包装 8

 9.3 运输 8

 9.4 贮存 9

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。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件首次发布

输电线路机载三维激光雷达作业系统技术要求

1 范围

本文件规定了输电线路机载三维激光雷达作业系统的系统组成与分类、技术要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存等内容。

本文件适用于110（66）kV及以上电压等级的交直流架空输电线路机载三维激光雷达作业系统的设计、检验与运维使用，其他电压等级的输电线路可参照执行。

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 4208 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 25095 架空输电线路运行状态监测系统
- GB/T 27919 IMU/GPS辅助航空摄影技术规范
- GB/T 35697 架空输电线路在线监测装置通用技术规范
- 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
- DL/T 741 架空输电线路运行规程
- DL/T 1346 架空输电线路直升机激光扫描作业技术规程
- DL/T 2435.1 架空输电线路机载激光雷达测量技术规程 第1部分：数据采集与处理
- DL/T 2435.3 架空输电线路机载激光雷达测量技术规程 第3部分：基建验收
- DL/T 2435.4 架空输电线路机载激光雷达测量技术规程 第4部分：运维巡检
- NB/T 10977 输电线路在线监测设计规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

机载三维激光雷达 airborne 3D LiDAR

在飞行平台上，集成激光雷达、GNSS、IMU、数码相机和控制系统所构成的综合系统。

[来源：DL/T 2435.1，2.1.1]

3.2

激光点云 LiDAR point cloud

激光雷达对地扫描，每个反射点位按三维坐标以点的形式分布在三维空间中，称为扫描点，扫描点的集合称为激光点云。

[来源：DL/T 2435.1，2.1.2]

3.3

点云密度 density of point cloud

单位面积内激光点的数量，一般用每平方米的点数量表示。

[来源：DL/T 2435.1，2.1.3]

3.4

输电线路机载三维激光雷达作业系统 3D LiDAR monitoring system for transmission line

以航空飞行平台为载体，搭载三维激光雷达载荷，实现输电线路本体及通道环境三维数据采集、处理、分析与状态监测的软硬件一体化系统。

3.5

检校场 calibration field

为获取机载激光雷达系统设备安置角参数，消除系统误差，在摄区内或摄区附近布选的检校区域。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CGCS2000：2000国家大地坐标系（China Geodetic Coordinate System 2000）

DEM：数字高程模型（Digital Elevation Model）

DOM：数字正射影像图（Digital Orthophoto Map）

DSM：数字表面模型（Digital Surface Model）

GNSS：全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System）

IMU：惯性测量单元（Inertial Measurement Unit）

INS：惯性导航系统（Inertial Navigation System）

POS：定位定姿系统（Position and Orientation System）

MTBF：平均无故障工作时间（Mean Time Between Failures）

5 系统组成与分类

5.1 系统组成

输电线路机载三维激光雷达作业系统由机载监测装置、通信网络、主站系统三部分组成：

- a) 机载监测装置：包含飞行平台、激光雷达载荷、POS 系统、成像单元、机载控制单元、供电单元、地面设施系统、惯性导航系统；
- b) 通信网络：实现机载监测装置与主站系统之间的数据传输，包含无线公网、电力专网、卫星通信等方式；（地面传输站，）
- c) 主站系统：包含数据接入模块、数据存储模块、数据处理模块、分析应用模块、数据加密模块（适用时）、接口管理模块、系统管理模块、三维可视化模块。

5.2 系统分类

5.2.1 按飞行平台类型划分：

- a) 有人机载三维激光雷达监测系统；
- b) 无人机载三维激光雷达监测系统。

5.2.2 按应用场景划分：

- a) 勘测设计型：适用于输电线路路径勘测、通道规划、选线定位场景；
- b) 基建型：适用于输电线路工程通道清理验收、本体施工验收等场景；
- c) 运维巡检型：适用于输电线路隐患排查、状态监测、灾害普查等场景；
- d) 应急抢修型：适用于（会后由柳州局补充）。

6 技术要求

6.1 基本规定

6.1.1 坐标系统与高程基准

系统应采用现行国家坐标系统和高程系统，坐标宜采用2000国家大地坐标系（CGCS2000）。同一工程的坐标系统和高程系统应保持一致。

6.1.2 系统检校要求

6.1.2.1 数据采集前应布设检校场对机载激光雷达设备进行整体检校，获取系统安置角参数与线元素偏移值。

6.1.2.2 有人直升机每次设备安装后、设备大修/主要部件更换后、受到剧烈震动后，应重新进行检校；无人机每次作业前宜完成系统自检与惯导校准。

6.1.3 软件要求

系统配套的数据采集、处理与分析软件应经鉴定或验证合格后方可使用。

6.2 机载监测装置技术要求

6.2.1 飞行平台技术要求

6.2.1.1 有人直升机平台

有人直升机平台应满足：

- a) 抗风能力应不低于 6 级，续航时间应大于 1h；
- b) 设备挂载后不应影响飞行安全，挂载结构应牢固可靠。

6.2.1.2 多旋翼无人机平台

多旋翼无人机平台应满足：

- a) 有效荷载能力应大于激光雷达设备总自重，续航时间宜大于 30min；
- b) 常规作业抗风能力应不低于 4 级，山区复杂场景作业宜选用抗风能力不低于 6 级的工业级平台，增加风力上线。

6.2.1.3 固定翼无人机平台

固定翼无人机平台应满足：

- a) 应具备自主航线飞行、自动起降能力，支持长距离带状线路巡航；
- b) 续航时间应大于 90min，巡航速度宜匹配激光雷达扫描帧率要求；
- c) 抗风能力应不低于 5 级，平原开阔区域长距离巡检宜优先选用。

6.2.2 激光雷达载荷技术要求

6.2.2.1 激光安全等级应为 Class I 级，应符合 IEC 60825-1:2014 的要求。

6.2.2.2 回波次数不应小于 2 次，宜支持 3 次及以上回波，可穿透植被冠层获取地面点数据。

6.2.2.3 有效测程应满足：

- a) 有人机激光雷达设备，反射率 10%时有效测程不宜小于 500m；
- b) 无人机激光雷达设备，反射率 10%时有效测程不宜小于 150m。

6.2.2.4 测距精度应满足：100m 测距范围内，测距误差不大于 10mm。

6.2.2.5 最大脉冲频率不应小于 100kHz，运维巡检型设备宜选用 500kHz 及以上脉冲频率设备。

6.2.3 POS 系统技术要求

6.2.3.1 机载 GNSS 接收机应为双频多星高精度动态测量型接收机，支持多星座信号接收。

6.2.3.2 采样频率要求

有人机GNSS采样频率不应低于2Hz，无人机GNSS采样频率不应低于4Hz。

6.2.3.3 IMU 性能要求

应满足：

- a) 有人机 IMU 侧滚角和俯仰角精度不应大于 0.005° ，航偏角精度不应大于 0.02° ；
- b) 无人机 IMU 侧滚角和俯仰角精度不应大于 0.01° ，航偏角精度不应大于 0.02° ；

c) IMU 记录频率不应低于 80Hz。

6.2.4 成像单元技术要求

- 6.2.4.1 应配备定焦数码相机，等效焦距不宜小于 24mm，对焦至无限远。
- 6.2.4.2 面阵有效像素总数不宜小于 2000 万，基建验收与精细化巡检场景宜选用 4200 万及以上像素相机。
- 6.2.4.3 最高快门速度不宜低于 1/1000s，满足高速飞行下影像清晰采集要求。

6.2.5 供电单元技术要求

- 6.2.5.1 机载设备供电应稳定可靠，满足全程作业设备持续供电需求。
- 6.2.5.2 地面基站供电应满足：蓄电池无充电情况下，可支持设备连续工作不少于 30d；太阳能供电系统应满足当地光照条件下持续供电需求。

6.3 数据采集技术要求

6.3.1 通道覆盖宽度

激光扫描通道覆盖宽度应满足不同电压等级、不同应用场景的要求，具体指标应符合表1规定。

表 1 激光扫描通道覆盖宽度要求

应用场景	电压等级	边线外覆盖距离 /m	备注
基建	500kV 以下交直流	不宜小于 50	通道总宽度不宜小于 100m
运维巡检	110kV	15	——
	±400kV	20	——
	500kV	32	——
注：大档距、大跨越、山区地形复杂等区段应适当增加扫描通道宽度。			

6.3.2 点云密度

不同应用场景下的激光点云密度应符合表2规定。

表 2 点云密度要求

应用场景	细分场景	点云密度要求/（个/m ² ）
勘测设计	植被覆盖较少地区	不宜少于 1
	植被覆盖较多地区	不宜少于 4
	植被特别密集地区	不宜少于 8
基建	通道清理验收	不宜小于 50
	杆塔、导线及附属部件验收	不宜小于 100
运维巡检	常规通道巡检	不宜小于 50
	交叉跨越精细化分析	不宜小于 50
	本体部件精细化巡检	不宜小于 100

6.3.3 点云精度

不同应用场景下的点云平面与高程绝对精度应符合表 3 规定。

表 3 点云精度要求

应用场景	平面绝对精度 /m	高程绝对精度 /m
勘测设计	符合对应比例尺勘测精度要求	符合对应比例尺勘测精度要求
基建验收（通道）	≤0.5	≤0.5
基建验收（杆塔、导地线部件）	≤0.15	≤0.15
运维巡检	≤0.2	≤0.2

6.3.4 点云质量

惯导轨迹曲线对于点云质量的诊断。补充相应参数。

6.3.5 地面基站布设要求

- 6.3.5.1 摄区内应布测一定数量的地面基站，基站间距离不应大于 100km，平面与高程宜共点布设。
- 6.3.5.2 作业区域 50km 范围内有稳定可靠的 CORS 站，采样时间间隔满足工作要求时，可不设地面基站，高程值宜进行精化似大地水准面模型改正。
- 6.3.5.3 地面基站点联测精度应满足：最弱边相对中误差小于 1/20000，每千米大地高差中误差小于 15mm。

6.4 数据质量

6.4.1 一般要求

数据处理应包含 POS 解算、点云解算与拼接、点云去噪、点云分类、数字产品生成、质量检查等完整流程。

6.4.2 POS 数据解算

- 6.4.2.1 可采用地面基站差分、CORS 差分、PPP 精密单点定位三种方式进行 IMU/GNSS 联合解算。
- 6.4.2.2 测区与最近基站间距小于 30km 时，宜选用单基站模式解算；超过 30km 时宜采用多基站联合解算。
- 6.4.2.3 POS 解算应引入偏心分量进行改正，解算后应对卫星数量、数据覆盖度、姿态精度、位置精度进行综合评估。

6.4.3 点云预处理与拼接

- 6.4.3.1 应联合 POS 解算结果、激光原始数据、系统检校参数进行激光点云三维坐标解算。
- 6.4.3.2 相邻航带点云拼接应进行去冗处理，重叠区域同名点平面与高程中误差应满足对应场景点云精度要求。
- 6.4.3.3 点云去噪应剔除飞行噪声、系统噪声、孤立噪点，保留有效地物点云数据。

6.4.4 点云分类

- 6.4.4.1 点云应按地物类型进行分类编码，至少包含地面、植被、建筑物、杆塔、导线、地线、绝缘子、道路、河流、管线类别。
- 6.4.4.2 分类精度应满足：地面点分类正确率不低于 95%，杆塔、导地线等线路本体点分类正确率不低于 98%。

6.4.5 数字产品制作

6.4.5.1 DEM 制作

应采用分类后的地面点云生成数字高程模型，格网间距宜不大于 1.0m；平丘地区高程中误差不应大于 0.5m，山地不应大于 1.0m。

6.4.5.2 DSM 制作

宜采用去噪后的第一次回波点云生成数字表面模型，格网间距宜不大于 1.0m，应完整反映地表地物起伏形态。

6.4.5.3 DOM 制作

应采用分类后的地面点云或 DEM，结合外方位元素对影像进行微分纠正、镶嵌、裁切生成数字正射影像图；地面分辨率应匹配点云密度，平面位置中误差应满足对应场景精度要求。

6.5 分析应用技术要求

6.5.1 通道树障分析

- 6.5.1.1 应支持当前工况下导线与树木的垂直距离、水平距离、净空距离自动计算，标注缺陷（隐患）点位置、所属杆塔区间、距大（小）号塔距离、缺陷（隐患）等级。
- 6.5.1.2 应支持树木倒伏分析，定位树木倒伏过程中对导线安全运行构成隐患的点位。

6.5.1.3 宜支持树木生长趋势预警，结合历史巡检数据预判树障发展态势。

6.5.2 交叉跨越分析

6.5.2.1 应支持对铁路、公路、河流、电力线、管道等交叉跨越物的空间位置提取，计算交叉跨越点处导线对地、对被跨越物的垂直距离、净空距离。

6.5.2.2 应支持交叉跨越隐患点统计、定位与台账管理。

6.5.3 杆塔状态分析

6.5.3.1 应支持杆塔倾斜度计算，通过提取杆塔不同高度横截面中心点，计算杆塔偏移值与倾斜度。

6.5.3.2 杆塔倾斜分析精度应满足：倾斜度测量误差不大于 0.1° 。

6.5.4 导地线参数测量与分析

6.5.4.1 应支持导地线弧垂、档距、相间距、次档距、导地线长度、电气间隙等参数的自动提取与计算。

6.5.4.2 弧垂测量相对误差不应大于 1%，相间距测量绝对误差不应大于 0.1m。绝对误差不大于 0.3m，或相对误差不大于 0.3%。

6.5.5 多工况模拟分析

6.5.5.1 应支持高温、覆冰、大风等典型工况下的导线弧垂、风偏模拟计算，分析不同工况下的通道安全距离。

6.5.5.2 工况模拟应结合导线力学参数、气象参数、线路台账参数，计算结果应可溯源、可验证。

6.5.6 基建验收分析

6.5.6.1 应支持房屋拆迁、林木砍伐、三线迁改等通道清理成果的核查与验收统计。

6.5.6.2 应支持杆塔参数校核、引流线跳线参数校核、悬垂绝缘子串倾斜度校核，输出标准化验收成果表。

6.6 主站系统技术要求

6.6.1 数据接收与存储

6.6.1.1 应可靠接收机载监测装置回传的点云数据、影像数据、装置运行状态数据、飞行姿态数据。

6.6.1.2 应具备大容量数据存储能力，满足至少 5 年的巡检数据存储需求，支持数据备份与恢复。

6.6.2 状态分析与告警

6.6.2.1 应具备线路三维可视化展示功能，支持点云、影像、矢量数据的叠加展示与漫游浏览。

6.6.2.2 应具备隐患自动识别与分级告警功能，告警等级可配置，告警信息可推送、可查询、可闭环管理。

6.6.3 查询统计与报表

应支持按线路、杆塔、隐患类型、时间维度的查询与统计，自动生成巡检报告、隐患分析报告、验收报告等标准化报表。

6.6.4 接口与系统管理

6.6.4.1 应具备标准化数据接口，支持与输电线路运维管理系统、生产管理系统等对接。

6.6.4.2 应具备用户权限管理、日志管理、系统配置功能，保障系统运行安全。

6.7 通信与数据安全

6.7.1 通信方式应根据作业场景选择，近场作业可采用无线宽带，远距离数据回传可采用无线公网/专网、卫星通信。

6.7.2 数据传输与存储应采取加密措施，信息安全应符合 GB/T 22239 等级保护相关要求。

6.8 环境适应性与可靠性

6.8.1 工作环境温度

机载设备工作温度： $-20^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ ；地面主站设备工作温度： $-10^{\circ}\text{C}\sim+45^{\circ}\text{C}$ 。

6.8.2 防护等级

机载户外设备外壳防护等级不应低于 IP65；室内主站设备防护等级不应低于 IP20。

6.8.3 平均无故障工作时间

机载监测装置MTBF不应低于15000h；主站系统MTBF不应低于50000h。

7 试验方法

7.1 试验环境

除另有规定外，试验应在环境温度 $15^{\circ}\text{C}\sim35^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于75%、大气压力860hPa $\sim$ 1060hPa的室内环境中进行。

7.2 外观与结构检查

采用目测、手动操作方式检查设备外观、结构、铭牌标识，应符合6.2、6.8.2相关要求。

7.3 功能与性能试验

7.3.1 飞行平台性能试验

按照飞行平台产品说明书开展航时间、抗风能力、自主飞行功能测试，验证是否符合6.2.1要求。

7.3.2 激光雷达性能试验

采用标准测距场、高精度全站仪对激光雷达的测距精度、测程、脉冲频率、回波次数进行校准测试，验证是否符合6.2.2要求。

7.3.3 POS 精度试验

通过地面基准站比对方式，检验 GNSS 定位精度、IMU 姿态精度（GNSS 定位更新频率、POS更新频率、姿态误差、定位精度、PPK支持的差分数据格式），验证是否符合6.2.3 要求。

7.3.4 点云精度检验

采用地面检查点实测坐标与点云提取坐标进行比对，计算平面与高程中误差，验证是否符合6.3.3 要求；地面检查点布设应均匀覆盖测区，数量不少于20个。

7.3.5 分析功能试验

按照系统操作手册逐项测试树障分析、交叉跨越分析、杆塔倾斜计算、导地线参数测量、工况模拟功能，验证计算结果准确性与功能完整性，应符合6.5要求。

7.4 环境适应性试验

7.4.1 高低温试验

按照GB/T 2423.1、GB/T 2423.2规定的方法开展低温、高温试验，试验后设备功能正常，数据采集与传输无异常。

7.4.2 防护等级试验

按照GB/T 4208规定的方法开展IP防护等级试验，验证设备防尘防水能力符合6.8.2要求。

7.5 可靠性试验

按照GB/T 5080.7规定的定时截尾试验方案开展可靠性验证试验，平均无故障工作时间应符合6.8.3要求。

8 检验规则

8.1 检验分类

检验分型式试验、出厂试验、交接试验及预防性试验。

8.2 出厂检验

每台设备出厂前应逐台进行出厂检验，检验项目包含外观结构、基本功能、主要性能指标、连续运行 168h 测试，检验合格后方可出厂。

8.3 型式检验

8.3.1 触发条件

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品定型鉴定时；
- b) 正常生产时，每 3 年进行一次；
- c) 停产 1 年后恢复生产时；
- d) 产品设计、工艺、核心元器件有重大改变，可能影响产品性能时；
- e) 国家质量监督机构提出型式检验要求时。

8.3.2 判定规则

型式检验样品应从出厂合格产品中随机抽取，数量不少于 3 台，全部项目检验合格为型式检验合格。

8.4 交接检验

到货验收时应进行抽样检验，单机供货 3 台及以下全检；超过 3 台按实际数量 10% 抽检，且不少于 3 台；抽检不合格时应加倍复检，仍不合格则判定该批次产品不合格。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

9.1.1 设备标志

设备显著位置应设置永久性铭牌，包含以下内容：

- a) 产品名称、型号、规格；
- b) 生产企业名称、地址、商标；
- c) 出厂编号、出厂日期；
- d) 额定电压、额定功率；
- e) 产品执行标准编号。

9.1.2 包装标志

包装箱外应标注收发货标志、储运图示标志，包含产品名称、型号、数量、毛重、外形尺寸、防潮、防震、向上等标识。

9.2 包装

产品包装应牢固、防潮、防震，符合 GB/T 13384 的规定；随机文件应包含装箱清单、产品合格证、安装使用说明书、检验报告等。

9.3 运输

包装完好的产品可通过公路、铁路、航空等方式运输，运输过程中应避免雨淋、暴晒、剧烈撞击与振动。

9.4 贮存

产品应贮存在环境温度 $-25^{\circ}\text{C}\sim+45^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不大于 80%、无腐蚀性气体、通风干燥的室内；贮存期超过2个月的蓄电池，使用前应补充充电。
