

T/EJCCCSE

团 体 标 准

T/EJCCCSE XXXX-XXXX

基于点云的输电防灾减灾通用技术规范

General technical specification for transmission disaster prevention
and mitigation based on point cloud

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国商业股份制企业经济联合会 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 基本规定 1

5 数据采集 1

6 数据处理 4

7 数据分析与应用 5

8 质量控制与验证 7

9 数据管理与安全 8

10 培训与技术支持 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。

本文件由中国南方电网有限责任公司超高压输电公司广州局提出。

本文件由中国商业股份制企业经济联合会归口。

本文件起草单位：中国南方电网有限责任公司超高压输电公司广州局。

本文件主要起草人：×××

基于点云的输电防灾减灾通用技术规范

1 范围

本文件规定了基于点云技术在输电线路防灾减灾工作中的数据采集、数据处理、数据分析与应用、质量控制与验证、数据管理与安全、培训与技术支持。

本文件适用于利用点云数据进行输电线路自然灾害（如台风、暴雨、冰雪、地震、山体滑坡等）的监测、预警、评估以及灾害后的恢复重建等相关工作。

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。

DL/T 5630-2021 输变电工程防灾减灾设计规程

3 术语和定义

DL/T 5630-2021 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

点云 Point cloud

通过测量设备获取的大量离散点的集合，这些点包含三维坐标信息以及可能的其他属性信息（如反射强度等），用于表征物体的空间形态和特征。

3.2

输电线路点云数据 Transmission line point cloud data

对输电线路及其周边环境进行扫描获取的点云数据，包括杆塔、导线、绝缘子、基础以及线路走廊内的地形、地物等信息。

4 基本规定

应符合 DL/T 5630-2021 中的规定。

5 数据采集

5.1 采集设备选择

5.1.1 机载激光雷达系统

5.1.1.1 电压等级 500 kV 及以上、线路长度超过 50 km，或跨越山区、森林等复杂地形的输电线路，应优先选用机载激光雷达系统。

- 5.1.1.2 系统应具备较高的点云密度和数据采集效率，该系统的激光扫描仪应具备较高的脉冲频率，且应不低于 200 kHz。
- 5.1.1.3 水平定位精度应优于 ± 15 cm，高程定位精度应优于 ± 20 cm。
- 5.1.1.4 飞行平台应具备良好的稳定性和机动性，应能实现在不同气象条件下按预定航线飞行。
- 5.1.1.5 飞行平台最大飞行速度应不低于 150 km/h，最大飞行海拔高度应不低于 5 000 m，应能实现不同区域输电线路的巡检需求。

5.1.2 地面三维激光扫描仪

- 5.1.2.1 电压等级 220 kV 及以下、线路长度较短且地形相对平坦的输电线路，宜选用地面三维激光扫描仪。
- 5.1.2.2 采集的点云数据应具有较高的空间分辨率和精度，地面三维激光扫描仪测距精度应优于 ± 3 mm，角度测量精度应优于 $\pm 0.005^\circ$ 。
- 5.1.2.3 扫描速度应根据不同的扫描模式和精度要求进行选择，在全角度、高精度扫描模式下，扫描速度应不低于 1 000 点/秒。
- 5.1.2.4 设备应兼具便携性和操作性，应能方便地运输到不同的测量地点，并在复杂的现场环境中快速架设和调试。

5.1.3 移动测量车

- 5.1.3.1 对输电线路进行局部精细检测和动态监测的场景宜选用移动测量车。
- 5.1.3.2 移动测量车搭载的激光扫描仪应具备较高的扫描频率，应不低于 50 Hz。
- 5.1.3.3 定位系统应采用高精度的 GPS/INS 组合定位方式，定位精度在平面方向应优于 ± 5 cm，高程方向应优于 ± 10 cm。
- 5.1.3.4 车辆应兼具行驶稳定性和通过性，应能在不同路况下正常行驶，最大行驶速度应不低于 80 km/h。

5.2 采集参数设置

5.2.1 机载激光雷达

5.2.1.1 飞行高度

- 5.2.1.1.1 应根据输电线路的电压等级、地形地貌和周边环境等因素，将飞行高度设置在 800 m $\sim$ 1 500 m 之间。
- 5.2.1.1.2 对于山区等地形起伏较大的区域，飞行高度可适当降低至 500 m $\sim$ 800 m。

5.2.1.2 航线间距

- 5.2.1.2.1 航线间距应为飞行高度的 0.3 倍 $\sim$ 0.5 倍。
- 5.2.1.2.2 相邻航线之间的点云数据应有足够的重叠度，且重叠度应不低于 40%。

5.2.1.3 扫描角度范围

- 5.2.1.3.1 扫描角度应覆盖输电线路及其周边一定范围的区域。
- 5.2.1.3.2 水平扫描角度范围为 $\pm 30^\circ \sim \pm 45^\circ$ 。
- 5.2.1.3.3 垂直扫描角度范围为 $-15^\circ \sim +20^\circ$ 。
- 5.2.1.3.4 扫描角度范围的设置应能完整地采集到输电线路、杆塔、导线以及周边地形地物的点云数据。

5.2.1.4 采样频率

采样频率应根据飞行速度、扫描角度范围和点云密度要求等因素进行设置，应不低于 100 kHz。

5.2.2 地面三维激光扫描仪

5.2.2.1 扫描角度范围

水平方向扫描角度应设置为 360° 全扫描，垂直方向扫描角度应综合输电线路杆塔的高度和周边地形情况进行设置，应设置为 $-60^{\circ} \sim +90^{\circ}$ 。

5.2.2.2 扫描分辨率

水平方向扫描分辨率应不大于 0.05° ，垂直方向扫描分辨率应不大于 0.1° 。

5.2.2.3 采样频率

5.2.2.3.1 应根据扫描距离和精度要求设置采样频率，采样频率应在 50 kHz $\sim$ 150 kHz 之间调整。

5.2.2.3.2 对于近距离、高精度的扫描任务，采样频率宜提高至 200 kHz。

5.2.3 移动测量车

5.2.3.1 扫描角度范围

5.2.3.1.1 水平方向扫描角度应为 360° 全扫描，垂直方向扫描角度应为 $-45^{\circ} \sim +30^{\circ}$ 。

5.2.3.1.2 扫描角度范围的设置应能采集到车辆行驶方向两侧及上方的点云数据，为输电线路的动态监测提供全方位的数据支持。

5.2.3.2 扫描频率

扫描频率应不低于 30 Hz。

5.2.3.3 车辆行驶速度

5.2.3.3.1 根据不同的测量任务和道路条件，车辆行驶速度应控制在 30 km/h $\sim$ 60km/h 之间。

5.2.3.3.2 在路况较好、测量精度要求相对较低的区域，行驶速度可适当提高至 80 km/h。

5.3 数据质量要求

5.3.1 完整性

采集的点云数据应能完整覆盖输电线路及其周边一定范围内的地形地物，数据完整率应不低于 98%。

5.3.2 准确性

5.3.2.1 点云数据的坐标精度应满足输电线路防灾减灾的要求，平面坐标精度应优于 ± 10 cm，高程坐标精度应优于 ± 15 cm。

5.3.2.2 点云数据的几何形状和尺寸应与实际物体相符，误差范围控制在应 $\pm 5\%$ 以内。

5.3.3 密度均匀性

5.3.3.1 点云数据的密度应在输电线路及其周边区域内保持相对均匀，相邻区域之间的点云密度变化应不超过 30%。

5.3.3.2 对于输电线路的关键部位，如杆塔、导线等，点云密度应适当提高，应不低于 100 点/m^2 。

5.3.4 噪声控制

5.3.4.1 点云数据中的噪声点比例应控制在 5% 以内。

5.3.4.2 应通过滤波、去噪等数据处理方法，去除因环境因素、设备误差等原因产生的噪声点，提高点云数据的质量和清晰度。

5.3.5 数据一致性

5.3.5.1 同一输电线路不同时期采集的点云数据应具有良好的 consistency，包括坐标系统、数据格式、精度等方面。

5.3.5.2 在数据处理和分析过程中，应采用统一的标准和方法，不同时期的数据应能进行有效的对比和分析，为输电线路的长期监测和防灾减灾提供可靠的数据支持。

6 数据处理

6.1 数据预处理

6.1.1 点云去噪

6.1.1.1 应采用滤波算法去除点云数据中的噪声点，如高斯滤波、中值滤波等。

6.1.1.2 滤波窗口大小应根据点云密度和噪声水平进行调整，应为 3×3 至 5×5 个点的范围。

6.1.1.3 经过去噪处理后，噪声点比例应控制在 2% 以内，

6.1.1.4 对于因设备振动、环境干扰等因素产生的离散噪声点，应通过设定距离阈值进行剔除。

6.1.2 点云精简

6.1.2.1 在实现点云数据特征和精度的前提下，应对原始点云数据进行精简，提高数据处理效率。

6.1.2.2 精简方法应采用随机采样、均匀采样或基于曲率的采样等。

6.1.2.3 精简后的点云数据量应根据输电线路的复杂程度和分析需求进行控制，保留原始数据量的 30% ~ 50%。

6.1.3 坐标转换

6.1.3.1 应将采集到的点云数据从设备坐标系转换到统一的地理坐标系或输电线路坐标系中，转换精度应优于 $\pm 5 \text{ cm}$ 。

6.1.3.2 应通过已知的控制点或基准点进行坐标转换，控制点的数量和分布应满足精度要求，每 10 km 输电线路应至少设置 3 个控制点。

6.2 数据配准

6.2.1 粗配准

6.2.1.1 当存在多站点、多角度采集的点云数据时，应进行数据配准。

6.2.1.2 应首先进行粗配准，宜采用基于特征的配准方法，如利用点云的几何特征(如平面、直线等)或基于 ICP(Iterative Closest Point)算法的改进方法进行初步配准。

6.2.1.3 粗配准后的点云数据重叠区域的均方根误差(RMSE)应控制在 10 cm 以内。

6.2.2 精配准

- 6.2.2.1 在粗配准的基础上, 应进行精配准以进一步提高配准精度。
- 6.2.2.2 精配准宜采用基于最小二乘法的优化算法或非线性优化算法等。
- 6.2.2.3 精配准后, 点云数据在重叠区域的配准精度应达到 $\pm 3\text{ cm}$ 以内。

6.3 点云分类与分割

6.3.1 分类方法

- 6.3.1.1 应根据输电线路及其周边环境的特点, 采用基于几何特征、光谱特征或深度学习等方法对点云数据进行分类。
- 6.3.1.2 分类精度应不低于 85%, 对于关键设备和部件(如杆塔、导线等)的分类精度应达到 90%。

6.3.2 分割精度

- 6.3.2.1 应对输电线路的关键部件进行精细分割, 分割精度应达到 $\pm 5\text{ cm}$ 。
- 6.3.2.2 对于部件的分割, 应能达到可准确地提取出部件的各个子构件的点云数据。

6.3.3 语义标注

- 6.3.3.1 在分类和分割的基础上, 应对不同类别的点云数据应进行语义标注, 标注内容应包括物体的名称、类型、属性等信息。
- 6.3.3.2 标注的准确率应不低于 90%。

7 数据分析与应用

7.1 杆塔结构安全分析

7.1.1 倾斜与沉降监测

- 7.1.1.1 应通过点云数据获取杆塔不同部位的坐标信息, 计算杆塔的倾斜度和沉降量。
- 7.1.1.2 倾斜度的监测精度应优于 $\pm 0.1^\circ$, 沉降量的监测精度应优于 $\pm 5\text{ mm}$ 。
- 7.1.1.3 倾斜度或沉降量超出预警值时, 应发出预警信号, 并及时进行现场勘查和评估。

7.1.2 构件变形检测

- 7.1.2.1 应分析点云数据中杆塔构件的几何形状和尺寸变化, 检测构件是否存在变形、弯曲等缺陷。
- 7.1.2.2 关键构件(如塔身主材、横担等)的变形检测精度应达到 $\pm 3\text{ mm}$ 。
- 7.1.2.3 如发现构件变形量超过设计允许值的 10%, 应采取相应的加固或修复措施。

7.1.3 应力应变分析

- 7.1.3.1 应结合杆塔的结构模型和点云数据, 利用有限元分析等方法计算杆塔在不同工况下的应力应变分布。
- 7.1.3.2 应力分析的误差应控制在 $\pm 10\%$ 以内, 应变分析的误差应控制在 $\pm 15\%$ 以内。

7.2 导线状态监测分析

7.2.1 弧垂监测

- 7.2.1.1 应根据点云数据测量导线的弧垂值, 弧垂测量精度应优于 $\pm 0.1\text{ m}$ 。
- 7.2.1.2 应对比设计弧垂值, 当弧垂偏差超过 $\pm 0.5\text{ m}$ 时, 应分析原因并采取相应的调整措施。

7.2.2 张力监测

7.2.2.1 应采用点云数据结合力学模型估算导线的张力，张力监测精度应达到 $\pm 5\%$ 。

7.2.2.2 当导线张力变化超过正常范围的 15% 时，应及时检查导线是否存在损伤、断股等情况，并评估其对输电线路安全运行的影响。

7.2.3 舞动监测

7.2.3.1 应通过点云数据的时间序列分析导线的舞动特征，包括舞动幅值、频率等。

7.2.3.2 舞动幅值的测量精度应优于 $\pm 0.2\text{ m}$ ，频率测量精度应优于 $\pm 0.1\text{ Hz}$ 。

7.2.3.3 当舞动幅值超过 0.5 m 或频率超过 1 Hz 时，应采取防舞措施。

7.3 线路走廊环境监测

7.3.1 植被生长监测

7.3.1.1 应定期分析线路走廊内植被的点云数据，获取植被的高度、覆盖面积等信息。

7.3.1.2 植被高度测量精度应优于 $\pm 0.2\text{ m}$ ，覆盖面积测量精度应优于 $\pm 5\%$ 。

7.3.1.3 当植被高度接近导线安全距离（一般为 $3\text{ m} \sim 5\text{ m}$ ）或覆盖面积增长率超过 50% 时，应及时进行修剪或清理，防止植被放电引发线路故障。

7.3.2 地质灾害监测

7.3.2.1 应通过点云数据监测线路走廊周边的地形地貌变化，及时发现滑坡、泥石流等地质灾害隐患。

7.3.2.2 对于潜在滑坡区域，应监测其位移变化，位移监测精度应优于 $\pm 5\text{ cm}$ 。

7.3.2.3 若发现位移量超过 10 cm ，应立即采取防护措施，如设置挡土墙、加固杆塔基础等。

7.3.3 气象环境监测

7.3.3.1 应结合气象传感器数据和点云数据，分析线路走廊内的气象条件，包括风速、风向、气温、湿度等。

7.3.3.2 气象数据的测量精度应满足相应的气象观测标准（如风速测量精度优于 $\pm 0.5\text{ m/s}$ ，气温测量精度应优于 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）。

7.3.3.3 应根据气象数据预测可能对输电线路造成影响的灾害性天气，提前做好防范准备。

7.4 灾害评估与恢复重建

7.4.1 灾害损失评估

7.4.1.1 在灾害发生后，应利用灾前和灾后的点云数据对比分析，评估输电线路的受灾范围、杆塔和导线的损坏程度等。

7.4.1.2 受灾范围的评估精度应优于 $\pm 10\%$ ，损坏程度的评估应准确到具体的构件和部位。

7.4.2 恢复重建方案制定

7.4.2.1 应根据灾害评估结果，制定科学的恢复重建方案。

7.4.2.2 方案应包括杆塔修复或重建的设计方案、导线更换的技术要求、施工进度计划等内容。

7.4.2.3 在恢复重建过程中，应利用点云数据进行施工质量监测和验收，重建后的输电线路应符合相应设计规范和安

7.4.3 后评估与经验总结

7.4.3.1 在恢复重建完成后，应对整个防灾减灾过程进行后评估，总结经验教训，完善相关技术规范和应急预案。

7.4.3.2 应分析点云数据在灾害监测、评估和恢复重建中的应用效果，提出改进措施和建议，不断提高输电防灾减灾的能力和水平。

8 质量控制与验证

8.1 数据质量检查

8.1.1 完整性检查

8.1.1.1 应检查点云数据是否覆盖输电线路及其周边环境的完整区域。

8.1.1.2 应明确关键部位如杆塔、导线、绝缘子等数据完整无缺失。

8.1.1.3 缺失数据的比例应控制在 5% 以内，若超过此比例，应重新采集或补充采集相关数据。

8.1.1.4 对于数据集中每个点的属性信息，如坐标、强度、颜色等，应同样明确完整。

8.1.2 精确性检查

8.1.2.1 应通过与已知的高精度测量数据或标准模型进行对比，评估点云数据的坐标精确性。

8.1.2.2 点云数据的坐标误差应控制在 ± 5 cm 以内。

8.1.2.3 强度值和颜色值等属性信息的精确性也应进行检查，强度值的误差范围应根据传感器的精度明确，相对误差应小于 10%。

8.1.2.4 颜色值应与实际场景相符，颜色偏差应在可接受的视觉范围内。

8.1.3 一致性检查

8.1.3.1 检查不同时间、不同视角或不同采集设备获取的点云数据之间的一致性。

8.1.3.2 在重叠区域，点云数据的坐标偏差应小于 ± 3 cm，强度值和颜色值等属性的变化应符合物理规律和实际情况。

8.1.3.3 对于经过处理和转换的点云数据，如坐标转换、滤波、精简等操作后的数据，应与原始数据保持逻辑一致，数据的特征和结构不应发生改变或丢失。

8.1.4 可信度检查

8.1.4.1 点云数据的来源应可靠，采集设备应经过校准和检验，具备有效的计量认证。

8.1.4.2 数据采集过程应符合规范和操作规程，严禁伪造或篡改数据。

8.1.4.3 对于数据的存储和传输过程，应保证数据的完整性和安全性。

8.1.4.4 应采用加密、校验等技术手段防止数据被恶意篡改或损坏。

8.2 分析结果验证

8.2.1 准确性验证

8.2.1.1 应将基于点云数据分析得到的输电线路杆塔倾斜度、导线弧垂等参数与现场实测数据进行对比验证。

8.2.1.2 导线弧垂的分析结果与实测值的误差应小于 ± 0.1 m。

8.2.1.3 在灾害评估方面，如对受灾范围和损坏程度的分析结果，应与现场勘查和评估报告进行核对，准确率应不低于 90%，分析结果应能准确反映实际情况。

8.2.2 精密度验证

应对多次重复分析或不同分析人员对同一组点云数据的分析结果进行比较,评估分析方法的精密度。

8.2.3 可靠性验证

8.2.3.1 应通过对不同类型、不同规模的输电线路点云数据进行分析,并与实际运行情况和历史数据进行对比,验证分析结果的可靠性。

8.2.3.2 分析结果应能准确预测和识别输电线路的潜在安全隐患和灾害风险,预测准确率应不低于80%。

8.2.3.3 在长期监测和分析过程中,分析结果应具有一致性和连贯性,应能为输电线路的防灾减灾决策提供稳定可靠的支持。

8.2.4 有效性验证

8.2.4.1 应验证基于点云数据分析得到的防灾减灾措施和建议的有效性。

8.2.4.2 应对灾害发生后的恢复重建方案进行评估,验证其是否能有效恢复输电线路的正常运行。

8.2.4.3 重建后的输电线路应满足设计规范和安要求,运行可靠性应不低于灾前水平。

9 数据管理与安全

9.1 数据存储与管理

9.1.1 存储格式与结构

9.1.1.1 点云数据应采用通用且标准化的存储格式,如LAS(LiDAR数据交换格式)或LAZ(压缩的LAS格式)。

9.1.1.2 数据存储结构应清晰合理,应按输电线路的不同区域、不同采集批次等维度进行分类组织存储,便于数据的查询与调用。

9.1.1.3 数据应具备可追溯性与可解读性,存储的数据应包含完整的元数据信息,如采集设备信息(设备型号、精度参数等)、采集时间、地理位置信息(坐标系统、投影方式等)、点云数据的点数、点密度等基本属性。

9.1.2 数据库管理系统要求

9.1.2.1 应采用专业的空间数据库管理系统对输电线路点云数据进行管理(如ArcGIS中的Geodatabase或PostGIS等)。

9.1.2.2 数据库应具备高效的数据索引机制,应能实现快速定位和提取所需的点云数据。

9.1.2.3 点云数据查询响应时间应在1秒以内。

9.1.2.4 数据库应支持数据的版本控制功能,应清晰记录数据的更新历史和不同版本之间的差异。

9.1.2.5 应能回溯任意历史版本的数据,且数据版本切换操作应简单快捷,切换时间不超过5秒。

9.1.3 数据存储容量与扩展性

9.1.3.1 应根据输电线路的规模和数据采集的频率,预估数据存储容量需求,并配置相应的存储设备。

9.1.3.2 存储系统应具备良好的扩展性,应能便捷增加存储容量以适应未来数据增长的需求。

9.1.3.3 数据存储设备应采用冗余设计,防止数据因磁盘故障而丢失。

9.1.3.4 对于关键数据,应具备异地备份功能,备份数据的完整性和一致性应与原始数据保持一致,且异地备份数据的更新延迟时间应不超过24h。

9.2 数据安全与保密

9.2.1 访问控制

- 9.2.1.1 应建立严格的用户访问权限管理系统，应根据用户的角色和职责分配不同的访问权限。
- 9.2.1.2 对不同权限级别的用户，系统应能精确控制其对数据的访问范围和操作类型。
- 9.2.1.3 应采用多因素身份认证机制，如密码搭配动态验证码、指纹识别搭配密码等方式，明确用户身份的真实性和安全性。
- 9.2.1.4 用户登录失败次数超过 5 次后，账号应自动锁定 30 min，防止暴力破解密码。

9.2.2 数据加密

- 9.2.2.1 在数据存储和传输过程中，应对点云数据进行加密处理。
- 9.2.2.2 存储加密宜采用 AES(高级加密标准)等对称加密算法，加密密钥长度应不少于 128 位。
- 9.2.2.3 传输加密宜采用 SSL/TLS(安全套接层/传输层安全协议)协议，实现数据在网络传输过程中的保密性和完整性。
- 9.2.2.4 应对加密密钥进行安全管理，应采用密钥管理系统进行密钥的生成、存储、分发和更新等操作。
- 9.2.2.5 密钥的存储应采用硬件加密设备防止密钥泄露。

9.2.3 数据共享与保密

- 9.2.3.1 有共享需求的数据，应建立数据共享审批流程。
- 9.2.3.2 内部共享数据时，须经过数据提供部门和接收部门的负责人审批，并明确共享的数据范围、使用目的和使用期限等信息。
- 9.2.3.3 外部共享数据时，除内部审批流程外，还须遵循相关法律法规和保密协议要求，对共享数据进行脱敏处理，去除敏感信息，如涉及国家安全、企业商业秘密等信息。
- 9.2.3.4 应建立数据保密审计机制，定期对数据的访问、共享和使用情况进行审计。
- 9.2.3.5 审计记录应保存至少 2 年，以追溯数据的操作历史和发现潜在的数据安全问题。
- 9.2.3.6 对违反数据保密规定的行为，应及时进行调查处理，并追究相关人员的责任。

10 培训与技术支持

10.1 人员培训

10.1.1 培训内容与课程设置

10.1.1.1 点云数据采集设备操作培训

- 10.1.1.1.1 应包括各类采集设备(如机载激光雷达、地面三维激光扫描仪、移动测量车等)的原理、结构、功能介绍，设备的启动、停止、参数设置、数据采集流程等实际操作演示与练习。
- 10.1.1.1.2 培训时长应不少于 20 学时，其中实际操作练习时间应不少于 10 学时。
- 10.1.1.1.3 通过培训后学员应能熟练掌握设备的操作技能，操作失误率应低于 5%。

10.1.1.2 数据处理与分析软件使用培训

- 10.1.1.2.1 应针对常用的点云数据处理软件(如 TerraSolid、Cyclone、CloudCompare 等)进行系统培训。

10.1.1.2.2 应涵盖数据导入、预处理(去噪、滤波、配准等)、分类与分割、特征提取、分析模型建立与应用等功能模块的操作方法与技巧。

10.1.1.2.3 培训课程应包含理论讲解与实际案例操作练习,总学时应不少于 30 学时。

10.1.1.2.4 通过培训后学员应能独立完成输电线路点云数据的常规处理与分析任务,分析结果的准确性应达到 80%以上。

10.1.1.3 输电线路结构与运行知识培训

10.1.1.3.1 培训应讲解输电线路的杆塔结构类型、导线类型与特性、绝缘子串配置、金具组成、线路设计规范、运行维护要求以及常见故障类型与原因等知识。

10.1.1.3.2 培训时间应不少于 15 学时,通过培训后学员应对输电线路的基本结构和运行原理有深入理解,应能准确识别点云数据中的输电线路各部件,并结合线路运行知识进行异常情况分析。

10.1.1.4 防灾减灾技术与应用培训

10.1.1.4.1 培训应详细介绍自然灾害(如台风、暴雨、冰雪、地震、山体滑坡等)对输电线路的影响机理、监测预警方法、灾害评估指标与模型、防灾减灾措施与策略等内容。

10.1.1.4.2 培训时长应不少于 20 学时,通过培训后学员应能依据点云数据和相关技术进行输电线路的灾害风险评估与预警,制定有效的防灾减灾方案,方案的可行性与有效性应达到 70%以上。

10.1.2 培训师资与教材

10.1.2.1 培训师资应由具有丰富实践经验的专业技术人员、高校相关领域专家学者组成。

10.1.2.2 技术人员应具有不少于 5 年的输电线路运维或点云数据应用工作经验,专家学者应在相关领域发表过一定数量的学术论文或拥有相关研究成果。

10.1.2.3 培训教材应根据培训内容编写或选用权威的专业教材、技术手册、行业标准规范等资料。

10.1.2.4 教材内容应涵盖理论知识、实际操作指南、案例分析等方面,具有系统性、实用性和时效性,并应定期进行更新完善。

10.1.3 培训考核与认证

10.1.3.1 应建立严格的培训考核机制,对学员的培训效果进行全面考核。

10.1.3.2 考核内容应包括理论知识考试、实际操作技能考核、案例分析与解决方案撰写等方面。

10.1.3.3 理论知识考试成绩应占总成绩的 40%,实际操作技能考核成绩应占 40%,案例分析与解决方案撰写成绩应占 20%。

10.1.3.4 考核标准为总成绩达到 60 分以上为合格,其中单项成绩不得低于 40 分。

10.1.3.5 应对考核合格的学员颁发培训合格证书,证书应注明学员的姓名、培训课程名称、培训时间、考核成绩等信息。

10.1.3.6 培训合格证书应作为学员从事基于点云的输电防灾减灾工作的资质证明之一,有效期为 3 年,有效期满后需重新参加培训与考核。

10.2 技术支持与维护

10.2.1 技术支持团队组建与职责

10.2.1.1 应组建专业的技术支持团队,团队成员应包括数据采集工程师、数据处理分析师、软件研发工程师、输电线路专家等专业技术人员。

10.2.1.2 团队成员应具备相关专业的本科及以上学历或同等专业技术职称，应具有不少于3年的相关工作经验，应能熟练解决点云数据采集、处理、分析以及输电线路防灾减灾应用过程中出现的各类技术问题。

10.2.1.3 技术支持团队的职责应包括但不限于下列各项：

- a) 为数据采集作业提供现场技术指导，保障采集工作的顺利进行；
- b) 及时解决数据处理与分析过程中出现的软件故障、算法问题等，保障数据处理的准确性和高效性；
- c) 根据输电线路防灾减灾的业务需求，开发和优化相关的数据处理与分析软件功能模块；
- d) 为用户提供技术咨询与培训服务，解答用户在使用点云技术过程中遇到的疑问；
- e) 收集和整理用户反馈的技术问题与建议，定期进行技术总结与经验分享，推动技术的不断改进与完善。

10.2.2 技术服务响应时间与解决率

10.2.2.1 应建立技术服务响应机制，设立专门的技术服务热线或在线服务平台，用户应能及时联系到技术支持团队。

10.2.2.2 对于用户提出的技术问题，技术支持团队应在1 h内做出响应，初步了解问题情况并提供初步的

10.2.2.3 解决方案或指导意见。

10.2.2.4 对于一般性技术问题，技术支持团队应在24 h内予以解决。

10.2.2.5 对于较为复杂的技术问题，应在72 h内给出详细的解决方案，并跟踪问题解决的全过程。

10.2.2.6 技术问题解决率应达到90 %以上。

10.2.2.7 对于未能解决的问题，应及时向上级部门或相关专家请示请教，并向用户说明情况，寻求进一步的解决方案。

10.2.3 设备与软件维护更新

10.2.3.1 应定期对数据采集设备和数据处理软件进行维护保养，应制定详细的维护计划和维护记录。

10.2.3.2 数据采集设备的维护周期应为每月一次，维护内容应包括设备的清洁、校准、性能检测等工作，维护结束后设备的各项性能指标应符合使用要求，设备的故障率应控制在5 %以内。

10.2.3.3 数据处理软件应定期进行更新升级，更新周期应为每季度一次，应及时修复软件存在的漏洞和缺陷，优化软件功能，提高软件的稳定性和处理效率。

10.2.3.4 应建立设备与软件的故障预警机制，通过设备的运行状态监测数据和软件的日志分析，提前发现潜在的故障隐患，并及时采取措施进行预防和处理。

10.2.3.5 对设备和软件的维护更新工作应进行详细记录，应包括维护时间、维护内容、维护人员、更新版本等信息。

T/EJCCCSE XXX-XXXX
