引文格式：王晓晓,王立娜,廖志坚,等. 新型测绘技术在架空输电线路勘测中的应用[J]. 地理空间信息, 2025, 23(6):96-99. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.06.021

新型测绘技术在架空输电线路勘测中的应用

王晓晓[1]，王立娜[2]，廖志坚[3*]，晏　岚[4]
（1. 云南省遥感中心，云南 昆明 650043；2. 二十一世纪空间技术应用股份有限公司，北京 100095；
3. 云南省地质技术信息中心，云南 昆明 650051；4. 云南二十一世纪空间信息技术应用有限公司，云南 昆明 650051）

摘　要：随着电力行业的发展，集电线路的精确测量和高效维护至关重要。传统架空输电线路测量方法在复杂地形和环境下存在精度低、效率差、成本高等不足。以云南省某光伏电站架空输电线路测量项目为例，研究无人机倾斜摄影及机载激光扫描技术等新型测绘技术实施架空输电线路测量的工艺流程。具体包括基于“倾斜模型+机载 LiDAR 点云+外业实测数据”进行测量，如绘制线路平断面图、测量交叉跨越、塔基断面等，以及在不同软件中进行数据处理和产品生产。与传统测量方法相比，新型测绘技术精度更高、作业效率更高，能为架空输电线路工程建设节约时间成本，降低工程建设成本，提高工作效率。

关键词：架空输电线路测量；新型测绘技术；光伏电站
中图分类号：P205　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）06-0096-04

Application of New Surveying and Mapping Technology in Overhead Transmission Line Measurement

WANG Xiaoxiao[1], WANG Lina[2], LIAO Zhijian[3], YAN Lan[4]
(1. Yunnan Remote Sensing Center, Kunming 650043, China;
2. Twenty First Century Aerospace Technology Co., Ltd., Beijing 100095, China;
3. Yunnan Geological Technology Information Center, Kunming 650051, China;
4. Yunnan Twenty First Century Aerospace Information Technology Co., Ltd., Kunming 650051, China)

Abstract: With the development of power industry, accurate measurement and efficient maintenance of overhead transmission lines are of crucial importance. Traditional measurement methods for overhead transmission lines have deficiencies such as low precision, poor efficiency, and high cost in complex terrain and environment. Taking the overhead transmission line measurement project of a photovoltaic power station in Yunnan Province for example, we studied the process flow of implementing overhead transmission line measurement with new surveying and mapping technologies such as unmanned aerial vehicle oblique photography and airborne laser scanning technology. Specifically, it includes measurement based on “oblique model + airborne LiDAR point cloud + field measured data”, such as drawing line plan and profile maps, measuring cross-overs, and tower foundation sections, as well as data processing and product production in different software. Compared with traditional measurement methods, new surveying and mapping technologies have higher precision and higher operational efficiency, can save time costs for overhead transmission line engineering construction, reduce engineering construction costs, and improve work efficiency.

Key words: overhead transmission line measurement, new surveying and mapping technology, photovoltaic power station

随着电力行业的持续发展，架空输电线路的精确测量与高效维护愈发关键。传统架空输电线路测量方法在应对复杂地形与环境时，存在精度欠佳、效率低下、成本高昂等弊端，难以满足现代电力系统建设及运行之需求[1]。无人机倾斜摄影以及机载激光扫描（light detection and ranging，LiDAR）技术等新型测绘技术，以其高效、精准、灵活的特性，能够在复杂地形条件下迅速获取准确的测量数据，为架空输电线路的规划、设计、施工及运维提供强劲支撑[2-5]。

本文以云南省某光伏电站架空输电线路测量项目为基础，对新型测绘技术实施架空输电线路测量的工艺流程展开研究，并分析其优势。为架空输电线路的测量工作提供更为高效、精准、可靠的技术支持，提升架空输电线路的建设与维护水平，确保电力系统安全稳定运行。同时，也为新型测绘手段在其他领域的应用提供参考与借鉴。

第一作者简介：王晓晓（1982—），硕士研究生，高级工程师，研究方向为GNSS、摄影测量与遥感，E-mail：1148763930@qq.com。
通信作者：廖志坚（1984—），硕士研究生，高级工程师，研究方向为自然资源信息化、遥感与地理信息系统，E-mail：275967026@qq.com。

1　新型测绘技术

1.1　无人机倾斜摄影

无人机倾斜摄影技术是通过在同一飞行平台上搭载多台传感器，同时从垂直、倾斜等不同角度采集影像数据，无人机倾斜摄影系统一般由一个垂直摄影相机和多个倾斜摄影相机组成，用以获取地物顶面以及侧视多角度的高分辨率影像信息，能够为后续的三维建模提供丰富的数据源[6-7]。

在架空输电线路测量中，无人机倾斜摄影技术能够迅速获取线路沿线的地形地貌、建筑物、植被等信息[8]。借助生成的三维模型和正射影像图，设计人员能够更加直观地知晓线路周边环境，从而进行线路路径的优化选择[9]。在施工阶段，无人机倾斜摄影可以对施工现场进行实时监控，保障施工质量与安全[10]。在运维阶段，无人机倾斜摄影能够快速找出线路的故障点和隐患，提升运维效率[11]。

1.2　机载LiDAR技术

机载LiDAR是一种借助激光测距技术来获取地面三维坐标的测量方式。其测量的原理是向地面发射激光脉冲，测量激光从发射至接收所经历的时间，再结合光速来计算出激光脉冲从飞机到地面的距离，然后依据飞机的位置信息与姿态信息，算出地面物体的三维坐标[12]。

机载激光扫描技术的优势主要体现为以下几个方面：①高精度，能够获取厘米级乃至毫米级的三维坐标信息；②高效率，能够在较短时间内迅速获取大面积的地面数据；③穿透性强，能够穿透植被覆盖，从而获取地面的真实地形信息；④不受光照和天气条件制约，能够在白天、夜晚以及恶劣天气状况下进行测量[13]。

2　整体技术路线

本文在实施架空输电线路测量时基于新型测绘技术，以“倾斜模型+机载LiDAR点云+外业实测数据”这三类数据为主，主要涵盖以下环节：①依据项目需求，获取测区范围内的倾斜模型以及LiDAR数据，同时实测塔基中心坐标、路径以及跨越交叉点的高度；②按照任务书要求确定测量路线范围、边线距离、塔基断面比例尺等重要信息，并根据三类数据源提取特殊点等信息；③基于预处理所提取的信息，分别在塔基数据处理软件以及电力软件中进行塔基断面文件以及电力线路纵断面分布图、风偏断面图等产品的制作。

3　架空输电线路平断面图测绘应用

3.1　项目介绍

本项目为云南省某光伏电站建设的35 KV架空输电线路测量项目。项目区坡度较为平缓，局部地形略有起伏，整体地势呈现东高西低的态势，海拔处于1 810~1 980 m之间。架空输电线路测绘总长度约为21.7 km，本次测绘长度约为3 km。主要测绘任务包括：①控制测量，涵盖已有控制点复核以及像控测量；②无人机影像数据和激光雷达数据采集；③线路平断面图测绘，包含线路塔基测量、中线（边线）纵断面、交叉跨越、风偏断面、塔基断面。

3.2　数据采集与预处理

本文采用多旋翼无人机系统搭载倾斜摄影模块实现项目区的倾斜航飞，重叠度设计为80%×60%，下视影像分辨率为3 cm，采集2个架次共计4 350张影像，覆盖面积约1.2 km。采用南方测绘SAL-1500机载三维激光扫描测量系统实现点云数据的采集，平均点密度约为80 pts/m^2，覆盖面积约0.8 km。本次测绘线路、影像点位分布及点云采集范围见图1。

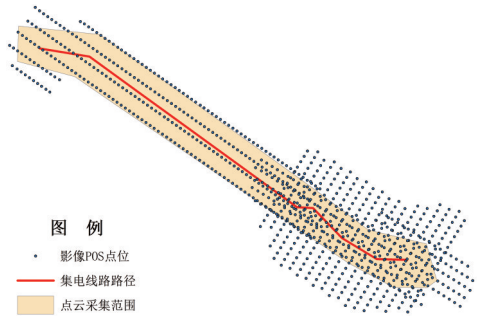


图1　架空输电线路路径及数据采集覆盖示意图

本项目运用重建大师来构建倾斜模型。该软件在数据处理方面简捷且高效，基本上无需人工进行干预，就能够产出高分辨率的实景三维模型，其生产过程主要涵盖多视影像联合平差以及密集匹配、构建三维TIN并生成白模以及进行纹理映射等环节[14]。生成的测区倾斜模型见图2。

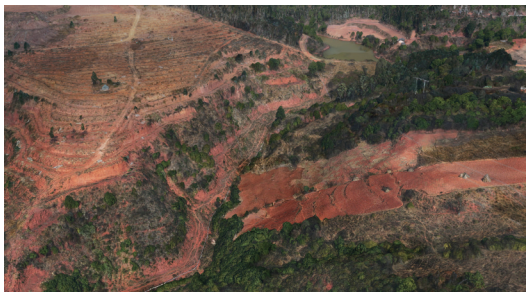


图2　测区倾斜模型（局部）

本文实现点云处理分类所采用的软件为Terra Solid

系列软件，用到了Terra Scan、Terra Photo 2个模块。主要工作是将解算后的点云成果导入到Terra Solid中，通过设置Block、建立工程、采用宏命令批量自动化对点云进行滤波及地面点的提取，辅以少量人工编辑获取准确的地面点及精细的DEM数据[15]，如图3所示。

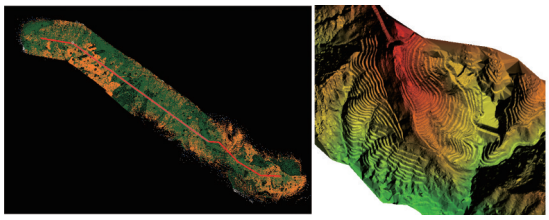


图3 测区全局点云数据（左）和局部高精度DEM（右）

3.3 线路平断面图测绘

3.3.1 基本要求

1）对线路进行测量并绘制平断面图，比例尺为横（距离）1∶5 000，纵（高程）1∶500。

2）测量线路沿途的各类交叉跨越情况，并将其标注于平断面图中。对于通信线，需注明杆面型式及性质；对于电力线，要注明电压等级。一、二级通信线需测量交叉角，并在平面图中注明该交叉角度。

3）测量线路两侧各100 m范围内的地形地貌，主要涵盖对线路有影响的建（构）筑物、道路、管线、河流、水库、水塘、水沟、渠道、坟地、斜交或平行的梯田、悬崖、陡壁等，并将这些内容标注在平断面图中。当线路通过林区、果园、苗圃、农作物及经济作物区时，应实测其边界和树高，并在平面图和断面图上予以表示。若线路跨越林木，应注明名称、种类、密度、现时胸径、现时生长高度等信息。

4）当线路平行接近通信线、地下电缆时，应根据设计专业的要求实测或调绘其相对位置。

5）测量沿途的边线及风偏断面，并标注在平断面图中。边线按5 m考虑，当线路通过山坡时，应视具体情况实测垂直线路横向风偏断面，并标注横向风偏断面的树种及高度数。

3.3.2 测绘流程

依据倾斜模型成果采集线路周围地形地貌，重点聚焦途经道路边线以及电线等成果。基于点云分类成果提取中线及边线高程点。对采集的高程点成果进行检查，主要针对采集范围内的最高点高程，并且在线路前进方向与道路相交的第一个点上必须要有高程点。核实完毕后导出采集的道路数据以及中线上和边线上的数据。

基于倾斜模型，结合外业实测数据，测量出道路宽度、道路与中线交叉角度以及电线与中线交叉角度，并提取特殊点数据。

按照规定格式要求整理特殊点数据文件、中线高程点、塔基中心位置坐标数据，并绘制线路平面图，如图4所示。

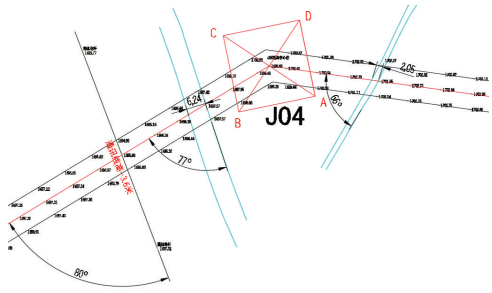


图4 线路平面图（局部）

在电力软件中生成电力线路总断面分布图，进行边线连接、整理以及种树操作并导入风偏数据。经过编辑处理后生成电力线路总断面分布图（图5），以及风偏断面成果图（图6）。

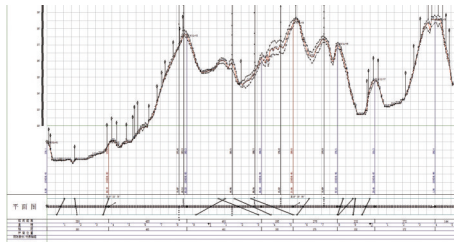


图5 线路总断面图（局部）

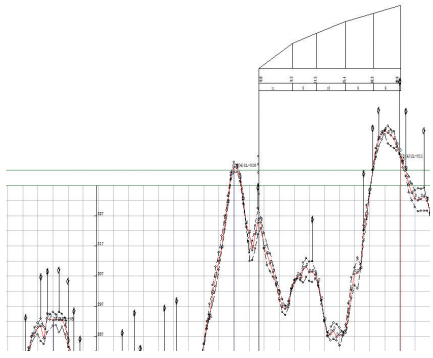


图6 线路风偏断面成果（局部）

3.4 塔基断面测绘

1）塔基断面的测量范围应根据塔型大小及其保护范围确定。需要对塔腿基础进行保护设计时，应测量塔腿保护范围内的最低点。

2）塔基断面测量宜测塔位中心至塔腿基础中心4个方向的塔基断面及断面点，以反映塔腿方向的高程变化，塔腿接地点宜测断面点。塔基断面点高程误差不应大于0.1 m。

3）逐基实测塔基断面图，图纸比例1∶100；在塔基数据处理软件中，调整电线塔的位置，并参照点云数据提取塔腿线上高程；导出并整理塔腿坐标，生

成初始塔基断面，并对断面参数进行调整得到最终塔基断面成果；最后导出塔基断面dxf文件。

4　优势分析

4.1　高精度测量

传统测量方法的精度一般处于分米级别。相较传统架空输电线路测量方法，新型测绘技术具备更高的测量精度。无人机倾斜摄影技术能够获取高分辨率的影像数据，经由摄影测量软件处理后，可生成厘米级乃至毫米级精度的三维模型和正射影像图。机载激光扫描技术能够直接获取地面三维坐标信息，其精度可达厘米级甚至更高。通过多项输电线路工程统计，传统全站仪测量平面中误差为±0.35 m，高程中误差±0.42 m；而无人机倾斜摄影技术生成的三维模型平面精度达±0.05 m，机载LiDAR点云高程精度±0.08 m。

高精度的测量结果能够为架空输电线路的工程建设提供强有力的保障。在规划阶段，准确的测量数据可以确保线路路径选择合理，避免因地形地貌等因素引发工程变更及成本增加。在施工阶段，高精度的测量结果能够保证杆塔的定位和架设准确无误，确保线路的弧垂符合设计要求，提升电力传输的安全性与稳定性。在运维阶段，高精度的测量数据可以精准发现线路的故障点和隐患，提高故障排查与修复的效率，保障电力系统的可靠性。根据全国17个省级电网项目的统计分析（2018—2023年），采用新型测绘技术后：线路路径优化率提升26%，平均减少工程变更2.3次/100 km；杆塔定位误差导致的返工成本下降78%，单基塔施工周期缩短0.8 d；弧垂检测效率提高5倍，年均避免导线舞动事故17起。

4.2　高效率作业

传统测量方法需要投入大量人力与时间，测量速度较为缓慢。由于无人机倾斜摄影技术能够在短时间内迅速获取大面积的影像数据，极大地缩短了测量时间。机载激光扫描技术可在一次飞行中快速获取线路走廊的地形地貌及地物信息，效率极高。因此新型测绘技术在架空输电线路测量中的作业效率远高于传统测量方法。以云南省山区某线路长度约25 km的110 kV线路勘测为例，传统方法完成地形图测绘和交叉跨越测量需要12人连续工作15 d，采用新型测绘技术仅需3人5 d即可完成外业工作，仅需3人4 d即可完成所有内业工作。

5　结　语

通过对云南省某光伏电站架空输电线路测量项目的深入研究，充分验证了新型测绘技术在架空输电线路测量中的显著优势。新型测绘技术凭借其高效、精准、灵活的特性，能够有效克服传统测量方法在复杂地形和环境下的诸多不足。采用“倾斜模型+机载LiDAR点云+外业实测数据”的方式进行架空输电线路测量，能够精准地获取线路周边的地形地貌、交叉跨越等信息，平面精度达到±0.05 m，高程精度优于±0.08 m，显著优于传统测量方法的分米级精度。在效率方面，新型测绘技术仅需传统方法约15%的时间即可完成同等规模的测量任务，外业人力投入减少60%以上，预计综合勘测周期缩短68%，为架空输电线路的规划、设计、施工和运维提供了强有力的技术支撑。

参考文献

[1] 李杰聪. 架空输电线路工程施工管理与质量控制[J]. 电子测试,2013,26(24):245-246

[2] 林振辉,张煜繁. 无人机倾斜摄影技术在测绘工程的应用[J]. 地矿测绘,2022,5(3):63-65

[3] 侯方国,刘欣,任秀波. 无人机倾斜摄影与LiDAR融合监测技术[J]. 测绘通报,2022(11):128-131

[4] 赵文军,丁智奇,王泓森. 倾斜实景模型和LiDAR点云数据相融合的不动产测量新方法[J]. 测绘通报,2021(2):87-92

[5] 王莹,汪诗奇,杨彦梅,等. 实景三维模型与LiDAR点云联合测图工艺研究[J]. 测绘与空间地理信息,2022,45(5):206-208

[6] 曹洪涛,高伟,张海峰,等. 无人机倾斜摄影分辨率建模与分析[J]. 地理空间信息,2019,17(1):14-15

[7] 刘伟,翟斌斌,刘燃,等. 无人机倾斜航空摄影在三维实景建模中的应用[J]. 地理空间信息,2020,18(1):45-46

[8] 田泽海,余星. 无人机倾斜摄影技术在大比例尺地形图中的应用[J]. 地理空间信息,2021,19(10):49-52

[9] 汤坚,杨骥. 无人机倾斜摄影技术在特高压输电线路路径优化中的应用研究[J]. 南方能源建设,2015,2(增刊):203-206

[10] 朱凌,孙伟伦,周克勤. 无人机倾斜摄影进行建筑施工进展监测初探[J]. 遥感信息,2021,36(4):12-19

[11] 谢涛,郑大鹏,李鸿鹏. 基于倾斜摄影测量技术的输电线路走廊三维重建[J]. 通讯世界,2016,22(1):130-132

[12] 许家录. 基于机载LiDAR数据获取高精度DEM的关键技术探讨[J]. 地理空间信息,2022,20(11):5-8

[13] 李亚男,涂道勇,刘志隆. 无人机载激光扫描技术在高原测图中的应用[J]. 地理空间信息, 2023, 21(8):80-82

[14] 赵伟山,李治明,胡天明,等. 基于倾斜摄影空地一体单体化建模技术的研究[J]. 地理空间信息,2022,20(6):102-105.

[15] 代莉,牛建军,张亮,等. 基于机载LiDAR的DEM生产流程浅析[J]. 地理空间信息,2018,16(10):44-46