

困难复杂地区输电防雷线塔数据机载 LiDAR 三维扫描获取

阮 玲¹ 周 平² 姚 尧¹

(1. 湖北省电力公司 电力试验研究院 湖北 武汉 430077; 2. 武汉科西尔信息技术有限公司 湖北 武汉 430050)

Difficult and Complex Regional Transmission Line and Tower Lightning Protection Data Acquisition by Airborne LiDAR 3D Scanning

RUAN Ling, ZHOU Ping, YAO Yao

摘要: 通过分析机载 LiDAR 的技术特点, 论证该技术解决困难复杂地区输电防雷线塔数据采集技术难题的可行性。

关键词: LiDAR; 输电; 防雷; 线塔数据

一、引 言

截至 2008 年年底, 全国运行线路 220 kV 及以上线路共 364 796 km, 其中, 750 kV 共有 536 km, 500 kV 共有 109 642 km, 330 kV 共有 17 906 km, 220 kV 共有 23 6712 km。雷击、自然灾害和外力破坏成为直接干扰国民经济电网正常生产运行的三大诱因。若防雷方案和防雷措施更具有差异化和针对性, 到 2020 年坚强智能电网建成时, 仅防雷设施和雷击跳闸事故修复部分, 每年将为国家节省大量资金并明显减少因非计划停电带来的损失。

传统的航测方法因天气原因易导致测量周期过长, 且无法识别垂直层面的线塔设施和克服地表植被的严重影响, 仅适用于新建输电线路方案选线与比选要求; 采用 GPS、全站仪或 GPS-RTK 等人工测量方式, 由于地势过于陡峭、人力无法到达杆塔及塔间线路现场, 无法适应工程需要。因此为降低因雷电灾害未及时防治而造成的严重影响, 架空输电线路亟需一种能提高数据获取效率的新方法。机载 LiDAR (light detecting and ranging) 三维扫描则为困难复杂地区输电防雷线塔数据获取提供了技术可能。

二、LiDAR 测量的主要设备

目前国内应用的主流机载 LiDAR 有加拿大 Optech 公司 ALTM 系列的 3100EA, 德国 IGI 公司

LiteMapper 系列的 LiteMapper5600, 徕卡公司的 ALS60, RIEGL 公司的 CP680 等。当前国内已知的最新 LiDAR 设备型号为 RIEGL 公司 CP680 二代。许多高校和科研单位如首都师范大学、武汉大学、中科院、中国测科院等, 也对机载 LiDAR 进行了集成和自主研发, 并取得一些研究成果。

虽然国内从事机载 LiDAR 商用设备应用的有 40 余家公司, 但对机载 LiDAR 的工程应用能力参差不齐。国内在无人机载 LiDAR 的集成与应用研究方面也逐渐成形, 未来数据采集和数据处理成本也会随之大幅降低, 有利于大范围推广应用。

三、机载 LiDAR 系统结构及其技术优点

机载 LiDAR 系统, 集成机载 GPS/IMU 及 CCD 相机等传感器, 以飞机为搭载平台, 利用激光测距的时间-飞行差原理直接获取地物三维数据。由于其主动获取地物高精度三维空间数据和穿透植被的独特优点, 在获取高精度输电线路走廊通道数据方面独具优势^[1-7]。机载 LiDAR 三维扫描工作的原理^[5]如图 1 所示。

1) 数据密度高。激光点云的地表扫描采样间距在 0.1 ~ 1.2 m 间, 甚至更小, 数据密度极大, 非常有利于真实线路走廊线路杆塔识别与模型的仿真模拟, 如图 2 所示。

收稿日期: 2011-10-19

作者简介: 阮 玲 (1961—), 男, 湖北武汉人, 教授级高级工程师, 主要研究方向为高压电器。

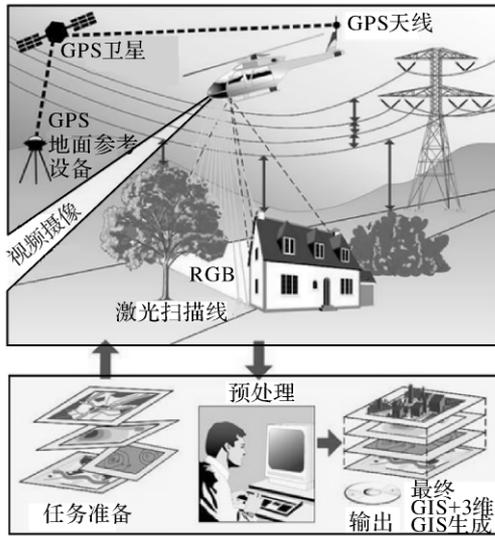


图1 机载LiDAR三维扫描工作原理

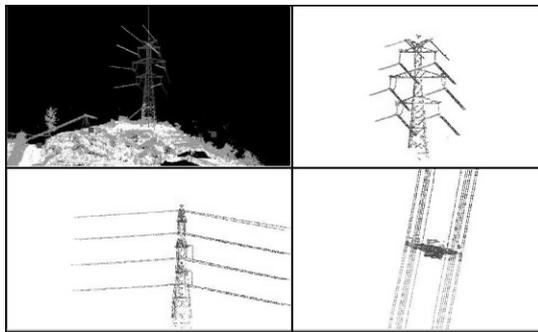


图2 机载LiDAR三维扫描线塔数据

2) 植被穿透能力强。由于其多次回波特性,任一束激光在穿越植被空隙时,可返回叶面、枝桠、地面等多个空间属性数据,有效克服植被影响,更接近真实地表。

3) 不受阴影和太阳高度角影响。以主动测量方式采用激光测距方法,不依赖自然光;不受太阳高度角、植被、山岭等影响。

4) 人工野外作业量少。采集的每个地面点都带有真实三维坐标,仅需布设极少量野外基站点;由于能同时获取高分辨率数码影像,为后期展示全景真三维可视化线路走廊提供了支持。

机载LiDAR系统具有快速、高密度、高精度的数据获取能力,特别适合带状数据采集,为输电线路走廊各类参数的获取提供了全新技术手段,也为地表环境困难复杂地区线路及杆塔数据的快速准确获取提供了可能,是一种困难地区高精度信息获取的创新技术手段。

四、基于机载LiDAR技术的输电防雷线塔数据获取

1. 高精度线塔数据扫描采集

(1) GPS 基站的布设

机载LiDAR在空中对输电线路进行扫描时,根据GPS基站发出的信号进行实时差分定位。单个GPS基站的覆盖半径通常为30 km左右,可根据输电线路走廊扫描范围的长度和带宽设定。

(2) 航飞任务设计

结合架空输电线路走廊的特点,针对地形和数据采集间距要求,确立飞行高度,估算飞行用时和架次。对于高差较大、地势过陡等特殊地貌地区,可以适当重飞,避免采集过程中盲区的产生,获取更丰富、准确的地表和线路杆塔设施数据。

2. 高精度激光点云预处理与精分类提取

野外数据采集完成后,需针对获取的原始激光点云和原始地表影像进行预处理,实现激光脚点大地定向、激光点云过滤及分类、影像还原纠正等一系列处理^[1-2,4,7]。

3. 三维线路杆塔矢量模型逆向构建

根据精分类后的激光点云数据,采用专业软件Plext和TowerModeling快速逆向建模的方法。所谓逆向建模就是通过近距离扫描获得高密度激光点云数据和高分辨率影像数据,使用专业软件进行模型的精细制作和贴图,得到真实准确、细节完整的数字化模型,如图3所示。

建立输电线路通道线塔设备层三维矢量化图形数据,一是用于三维立体可视化,二是用于线塔雷电专业参数计算时弥补采样点间隔太大或缺失的客观现实,确保参数分析数据准确有效。

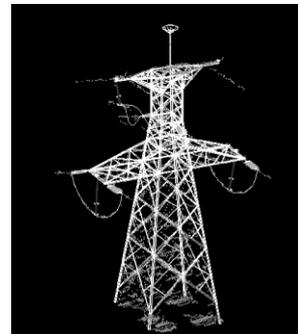


图3 线塔矢量模型

4. 线路杆塔雷电参数应用挖掘

地形地貌数据中,线路参数和杆塔数据是防雷方案需要重点获取的对象。根据机载LiDAR的数

据特点,采用自主专业软件 TowerTreat 辅助分析计算的方法,能够客观表达塔形、结构,典型输电线路的地理坐标、高度、密度及地形地貌参数。

杆塔横截面左右各 100 m 内,用每隔 25 m 取一个相对杆塔的点计算出地面倾角 θ_i ,来定义地形地貌参数。导线、避雷线沿线路档距全线每隔一定档距对地表高度来定义线路参数。根据防雷电专业要求选取杆塔分类层激光点云数据对应的特征点,定义杆塔参数。杆塔参数包括导线(导线和避雷线)高度和中距等。

五、技术应用实例

鄂西三峡地区地表条件复杂、气候多变,高山峡谷众多,切割地形严重,为输电线路雷电防护带来很大困难。因此,在研究三峡地区输电线路雷电机理和防治措施时,有必要开展此项研究工作。需要获取更精确的输电线路全线逐级杆塔的塔形、结构,典型输电线路的地理坐标、高度、密度及地形地貌参数,用于雷击风险的统计和进行仿真输电线路雷击风险评估^[8-10]。

在微观地形地貌(<1 km)条件下,为评估逐级杆塔差异化防雷措施的有效性和针对性提供真实参数依据。同时,有助于对输电线路综合防雷措施进行效果后评价和事故反演。

本次研究采用机载三维激光雷达扫描技术在三峡地区试点线路上方进行飞行扫描,对获取的成果数据进行精细分类和处理后,生成三峡地区试点线路走廊通道精确的全景真三维地形地貌图像和线路杆塔等专业雷电参数。为三峡区域试点线路采取有针对性的差异化防雷防治措施提供准确参数。

为满足防雷方案设计需要,本次工程技术要求:平面误差不大于 ± 1 m,高程误差不大于 ± 0.5 m。每平方米不少于 10 个激光点。飞行任务设计中,考虑到三峡地形复杂和微气象条件复杂等情况,第一次全线巡视飞行,第二次根据技术要求进行任务采集飞行。在整个路线范围,共布设两个 GPS 基站。

经对比分析,现有资料第一次提供的 220 kV 的某线 23 个转角塔坐标,有 13 个杆塔有明显差异,且差异在 60 m 以上,占 57%。后经过复测和共同验证,结果证明机载 LiDAR 三维扫描数据准确可靠。

同时,在这次机载 LiDAR 三维技术研究中,利用机载 LiDAR 数据进行全线路走廊线塔防雷数据的获取输出和全线路走廊真三维矢量化场景进行了雷击复现反演。

六、结论与展望

在本次困难复杂地区输电防雷线塔数据机载 LiDAR 三维扫描获取的技术应用研究中,达到了设定的数据采集技术要求。从机载 LiDAR 数据所获取的地形地貌参数,线塔参数数据首次成功地应用于输电线路防雷方案的设计和雷击事故复现反演评估中。

国内电力行业还未真正重视这种机载 LiDAR 精确数据的高可复用性,本次研究在挖掘其深层次应用特别是在雷电防治等专题应用方面做了有益探索。本次机载 LiDAR 技术应用研究和实践证明,机载 LiDAR 三维扫描技术极有可能改变传统输电防雷线塔数据的获取来源,引领输电线路差异化防雷评估方法,是一项非常有应用前景的输电线路走廊三维扫描技术。

参考文献:

- [1] 张小红. 机载激光雷达测量技术理论与方法[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2007.
- [2] 赖旭东. 机载激光雷达基础原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [3] 戴永江. 激光雷达原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
- [4] 黄先锋, 李卉, 王潇, 等. 机载 LiDAR 数据滤波方法评述[J]. 测绘学报, 2009, 38(5): 466-469.
- [5] 李国兴. 我国直升机电力作业的现状与发展[J]. 电力设备, 2006, 7(3): 41-45.
- [6] 张险峰, 陈功, 尼维, 等. 激光雷达直升机巡线技术的现状与应用前景[J]. 电力建设, 2008, 29(3): 40-43.
- [7] 蒙祥达, 李新科. 机载激光雷达技术及其在电力工程中的应用[J]. 广西电力, 2007(9): 81-83.
- [8] 沈晓龙, 祁利, 胡萍, 等. 湖北省超高压典型输电线路防雷效果评估[J]. 湖北电力, 2009, 33(3): 4-8.
- [9] 王晓彤, 施围, 刘文泉. 改进电气几何模型计算输电线路绕击率[J]. 高电压技术, 1998, 24(1): 85-87.
- [10] 谷山强, 陈家宏, 陈维江, 等. 输电线路防雷性能时空差异化评估方法[J]. 高电压技术, 2009, 35(2): 294-298.