

三维激光雷达技术在输电线路运行与维护的应用

阳锋, 徐祖舰

(广西电力工业勘察设计研究院, 南宁 530023)

摘要: 三维激光测量技术为空间三维信息的获取提供了全新的手段。介绍了三维激光雷达技术在输电线路运行与维护的应用, 包括线路走廊危险地物检测、电力线间距精细量测、输电线路三维可视化管理、线路走廊地形地貌变化检测、已有输电线路的增容分析和新建线路的树木砍伐评估, 并给出激光雷达技术在我国输电线路运维中应用的实例。

关键词: 激光雷达; 直升机巡线; 输电线路维护

Application of the Lidar Technology on Operation and Maintenance of Power Transmission Lines

YANG Feng, XU Zu-jian

(Guangxi Electric Power Industry Investigation Design and Research Institute, Nanning 530023, China)

Abstract: Lidar technology provides new tools to get 3D geographic information. Applications of the technology in power transmission system are introduced in this paper as following: risky objects examination along line, automatic adequate clearances between conductors and objects below ensurance, finely measurement of the interval between conductors, transmission line 3D visualization management, topography change detection along corridors, re-rating, vegetation evaluation and management along transimission line. Furthermore, certain examples of lidar technology adopted in operation and maintenance of transmission line in China are addressed.

Key words: lidar; helicopter powerline inspection; powerline maintenance

当前我国的直升机巡线技术空间定位的量测精度大多数不够高^[1-2], 难于精确判断线路走廊地物(比如树木等)到线路的距离, 因此难于防范输电线路的树闪故障^[3]。三维激光雷达技术可以很好的解决空间定位和量测精度等问题^[4]。激光雷达从2005年起, 已经成熟应用到我国输电线路勘测设计中^[5]。2007年, 在我国, 北京超高压和张家口供电局率先将激光雷达技术应用到电力线间距量测。目前北京、重庆以及南方电网等各地区电力部门正在推进激光雷达电力巡线的科研和试验工作。

三维激光雷达系统通过激光器向被探测目标发射激光脉冲, 经过被探测目标的反射或散射后, 激光脉冲返回激光器, 通过对返回激光脉冲进行分析来探知被探测目标。三维激光测量技术的出现和发展为空间三维信息的获取提供了全新的技术手段。

利用激光雷达测量系统进行输电线路的运行维护和规划设计, 在国外已取得了很多的应用, 如德国 GAH 公司^[2]。

1 线路走廊危险地物的检测

《架空送电线路运行规程》要求, 线路巡检时必须保证导线到线路走廊各种地物的距离符合安全距离要求。线路走廊危险地物检测, 即量测各种线路走廊地物(特别是树木、房屋、交叉跨越)到导线的距离是否满足安全运行要求, 这就要求首先根据检测需要将激光点云进行分类, 一般需分类出地面、树木、房屋、铁塔、被巡线路、交叉跨越等。

激光点云分类后, 找出导线与绝缘子之间的挂线点, 并利用悬链线方程拟合导线弧垂, 每根悬链线对应一根导线。经过这种处理后, 可以很容易地量测和计算所有地物点到线路的距离。一旦某类别地物到电线的距离不符合要求, 则自动报警, 并可输出图表, 包括危险点平断面图、危险点统计报表等, 供运维人员野外现场检修参考。

线路检测时使用的距离, 要根据最高气温情况或覆冰无风情况求得的最大弧垂, 以及最大风速情

况或覆冰情况求得的最大风偏进行计算, 而利用激光点云拟合的导线悬链线模型只是激光数据采集瞬间的模型。因此, 必须测量激光雷达数据采集瞬间的温度、风速、风向、湿度和气压、日照强度、线路的电流等条件, 以建立线路弧垂模型, 进而计算各种条件下的弧垂状态^[3,6-7]。

树木是对线路安全影响最大的走廊地物之一, 而且其数据采集、量测和管理比较困难^[8]。激光雷达通过多次回波技术穿透树木, 实现树木下地面和树木高度的测量, 为线路走廊的树木检测和管理带来可行、高效的手段。很多树闪停电是通道外的树木倒入通道内造成, 这就要求树木在倒下的过程中, 其最高点与边导线还有一定的距离。这种要求不是简单的量测地物顶端到电线的距离, 而要考虑树木本身的高度、树木的生长和树木倒塌压到线路等因素, 这对软件检测距离的算法提出不同要求。考虑到树木的生长, 就需要在树木到线路的安全距离值上再设置一定的裕度, 跟树木生长高度有关。关于树木的生长模型, 国内外不少学者已经进行了研究, 可作为裕度设置的参考^[9]。由于激光点云全部是离散的点, 并没有树木的整体概念, 所以可以假定每个树木激光点都是一个树的最高点, 树的高度是该点到地面的距离, 人工设置树干的半径是树高的百分之几。树倒下的圆弧中心点可以是该树木激光点到地面的交点, 也可是树干靠近线的边与地面的交点^[9]。

2 电力线间距离的精细量测

大风、冰雪天气可能造成导线舞动, 引起导线相间和分裂导线间距离的变化, 极易造成短路放电。激光雷达可在线路带电、不接触线路情况下, 精确量测相间和各分裂子导线间的距离, 为制作间隔棒提供指导。

2007 年初, 东北及华北地区大面积暴风雪影响, 导致输向北京地区的 500 kV 超高压线路电缆结冰, 加之部分线路区域处于特殊的强风区, 结冰的线路在强风作用下舞动, 并产生放电, 导致短路停电。因此, 需要在电力线上安装相间间隔棒, 以减小线路舞动。利用激光雷达技术可以在不拉闸断电的情况下量测出高精度的相间距离, 为间隔棒制作提供准确的依据。广西桂能信息工程有限公司利用直升机搭载激光雷达设备对源霸双回输电线路进行

高精度扫描, 量测了近百处相间距离, 经验证精度达到 5 cm; 利用地面激光雷达扫描了海万一线 42 处相间距离, 经验证精度达到 2 cm。根据这些量测结果加工的间隔棒很好地满足了线路维护的需要。

3 输电线路三维可视化管理

目前常用的三维数据采集手段包括人工测量、航空摄影测量和卫星遥感。机载三维激光雷达测量系统是目前唯一可以同时准确恢复线路三维走廊地形、地貌、地物、线路杆塔位置形状、线路弧垂的快速测绘手段。

激光雷达数据经过相关软件数据处理后, 可以生成高精度的数字高程模型 DEM、数字正射影像 DOM。基于 DEM 和 DOM, 可以生成线路走廊三维地形、地貌。基于激光点云, 可以对杆塔和导线等进行三维建模, 精确匹配实际坐标。对于走廊地表附着物, 如房屋、树木等, 也可直接用激光点云来表达, 既能保证数据的精确性, 又能减少数据处理的工作量。

基于激光雷达测量技术处理得到的三维场景, 将野外的真实情况展示在计算机上, 可从全局到微观的了解整条线路, 如图 1 所示。



图 1 激光雷达测量技术得到的线路三维激光点云可表达走廊植被、房屋、交叉跨越等

Fig. 1 Vegetation, Buildings and Powerline Crossings etc. along Transmission Corridor Set up by Lidar Point Clouds

4 线路走廊地形地貌变化检测

在某些输电线路走廊内, 由于地质条件、风化、水冲刷、以及道路、水利施工等因素, 杆塔附近可能出现塌陷、滑坡、位移等现象, 这对输电线路的安全有极大的危害。基于激光雷达采集的高精度激光点云和高分辨率影像, 可以比较准确和直观的反映这种地形地貌的变化, 可尽早让线路维护部门了解野外实际情况, 制定维护保障计划, 并制定方案。

5 输电线路的增容分析

为提高线路载流容量,一方面要考虑线路各种设施设备材料是否承受新荷载引起的温度升高,一方面要考虑荷载提高后,线路弧垂增大而造成的线路对地距离是否满足要求^[3]。利用激光雷达测量技术快速扫描并恢复线路走廊精确的地形地物三维空间位置,再利用计算机模拟提高荷载后的弧垂,进行弧垂对地距离安全检测,可以为提高电线载流容量提供依据。

目前,很多设备厂商开发了输电线路在线监测设备,可以对线路上的微气象条件(日照、风速、环境温度等)、导线温度、导线弧垂等进行实时监测和计算。激光雷达测量技术与在线监测技术相结合,可以在不突破导线最高允许温度和安全距离的前提下,充分发挥输电线路潜在的输送容量,进一步实现动态增容。

6 树木砍伐评估和管理

电力路线穿越林地时,需要评估被穿越树林的面积、高度、体积,以评估建设成本。对于已建成线路,得到通道内树木空间信息后,如果知道通道内主要树种的年自然生长率,可以计算最佳剪伐量。目前,常规的遥感影像处理可以获取林地的面积,但很难获得高度和体积。通过激光点云,可以获取林地空间结构信息,包括树高和树冠等几何特征。通过同步获取的多光谱 CCD 影像和回波强度信息(一般在近红外波段),可获得测区突变线信息、纹理信息和光谱信息,进而获得树木面状覆盖状况。融合所有这些信息,可以识别树木高度、面积、体积,甚至树种,自动化估算电力线勘测、架设与维护中的林地损失。目前,这方面的研究尚处于起步阶段^[10]。

7 结 语

本文介绍了激光雷达测量系统在输电线路运行维护工作中的应用。激光雷达测量系统的优势在于其能准确恢复线路走廊三维空间信息,如果将热红外、可见光摄影摄像设备与激光雷达集成到一个统一的系统,则可以获得线路沿线地区更准确更全面的信息,极大地提高直升机巡线的作业能力。

目前北京、云南、重庆、南网等各地区电力部

门正在大力推进激光雷达电力巡线的科研和试验工作,相信在不久的将来,激光雷达技术将在输电线路运维工作中发挥更大更全面的作用,并成为一种常规的巡线手段。

参考文献:

- [1] 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.
LI Guo-xing. Present Situation and Development of Helicopter Power Job in China. Electrical Equipment, 2006, 7(3): 41-45.
- [2] 张险峰, 陈功, 龙维, 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.
ZHANG Xian-feng, CHEN Gong, LONG Wei, et al. Current Status and Prospects of Helicopter Power Line Inspection Tour with LIDAR. Electric Power Construction, 2008, 29(3): 40-43.
- [3] FRANKEN P. Transmission Line Monitoring Through Airborne Modeling [EB/OL]. [2008-11-30]. <http://www.flimap.nl/download/articles/OHL/TransmLineMonThrAirborneMod.pdf>
- [4] 张吴明, 杨又华, 阎广建, 等. 机载多角度多光谱成像技术在电力系统中的应用[J]. 华中电力, 2006, 19(6): 1-2.
ZHANG Wu-min, YANG You-hua, YAN Guang-jian. Application of Airborne Multiangular and Multispectral Imaging System in Power System. Central China Electric Power, 2006, 19(6): 1-2.
- [5] 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.
- [6] BERENDE M J C, SLOOTWEG J G, CLEMENS G J M B. Incorporating Weather Statistics in Determining Overhead Line Ampacity [C] // 2005 International Conference on Future Power Systems, Nov. 18, 2005, Amsterdam. New York: IEEE, 2006: 8.
- [7] HOOPER Bryan. Vegetation Management Takes to the Air [J]. Transmission & Distribution World, 2003(9).
- [8] 刘怀东, 陈伟, 高晓辉, 雷相东. 从大停电观点分析一类输电线路树闪故障[J]. 电网技术, 2007, 33(增1): 67-69.
LIU Huai-dong, CHEN Wei, GAO Xiao-hui, LEI Xiang-dong. Analysis of Vegetation-Related Failures on Transmission Lines from the Viewpoint of Blackouts [J]. Power System Technology, 2007, 33(S1): 67-69.
- [9] HOOPER Bryan, BAILEY Tom. Aerial Surveys Calculate Vegetation Growth [J]. Transmission & Distribution World, 2004(10).
- [10] 刘琪琛, 沼田洋一, 金田真一. 航空激光雷达用于森林测量的数据处理方法研究[J]. 遥感学报, 2008, 12(1): 104-110.
LIU Qi-jing, YOICHI Numata, SHINICHI Kaneta. Processing of Airborne Laser Scanned Data for Altimetry in Forest Areas [J]. Journal of Remote Sensing, 2008, 12(1): 104-110.
- [11] 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.

收稿日期: 2008-12-18

作者简介:

阳锋(1977-), 男, 湖南衡东人。工程师, 硕士研究生, 主要从事激光雷达、地理空间信息技术的行业应用研究和软件开发, E-mail: yangfme@163.com。

徐祖舰(1973-), 男, 重庆人。工程师, 在读研究生, 主要从事基于激光雷达技术、地理空间信息技术的行业应用研究, E-mail: cqken@163.com。