

# 高性能机载激光雷达系统 在密林地区输电通道勘察设计中的应用

任正昊

北京洛斯达科技发展有限公司

**摘要:** 密林地区林下高程精度一直是工程勘测过程中的痛点和难点,传统航空影像往往不能准确的获取地面高程信息,需要人工现场勘测,大大影响了工程勘测的效率,本文主要分析在密林地区采用高性能机载激光雷达系统开展输电线路通道航空摄影,提高密林地区激光点云密度及激光点云穿透力获取林下精确地理信息,提高输电线路通道勘察设计阶段的作业效率,探索研究先进航摄技术在输电线路工程勘察设计阶段的应用,为电网工程建设提供优质技术方案。

**关键词:** 机载激光雷达系统; 输电通道; 航空摄影  
【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.101

## 一、引言

机载激光雷达技术在大范围、高时效、高精度林木高度和高程信息获取等方面具有明显的优势,由于激光雷达具有一定的植被穿透能力,在植被覆盖区域能够有一定概率透过植被缝隙获取地面点数据,同时,激光雷达获取的点云数据测量精度较高,这些优势使得激光雷达系统能够有效助力输电线路通道前期勘察设计工作的开展。随着机载激光雷达系统及相关应用技术的发展,电网工程输电通道勘察阶段对激光点云数据需求日趋增多。输电线路勘察技术规范中对激光点云的要求,在满足2km输电通道宽度的前提下,激光点云密度宜要求4个点/m<sup>2</sup>以上,当需要获取交叉跨越线路的点云数据时,宜要求10个点/m<sup>2</sup>以上。同时电网工程正在推行的“正向三维设计”对激光点云的数据密度提出远高于常规输电线路工程的要求。

## 二、机载激光雷达技术概述

机载激光雷达技术是一种综合利用激光、全球定位系统(GPS)、惯性导航系统(IMU)的数据采集技术,相对于传统航空摄影测量技术,具有自动化程度高,受天气影响较小,生产周期短、数据精度高等特点。其中激光传感系统利用返回的激光脉冲可获取探测目标高精度的距离、坡度和反射率等信息,配套数码航摄仪可获取探测目标的数字成像信息,经过地面的信息处理而生成逐个地面采样点的三维坐标,最后经过综合处理而得到沿一定条带的地面区域三维定位与成像结果。

机载激光雷达系统是集成了激光测距技术、差分定位技术、计算机技术、惯性导航技术于一体的空间测量系统,包括激光发射和接收系统。激光器发射激光脉冲,打到被测物体上并反射,被接收器接受,接收器准确地测量光脉冲从发射到被反射回的传播时间。光速是已知的,从传播的时间即可被转换为对距离的测量。结合激光器的高度和激光扫描角度,从GPS得到的激光器位置和从IMU得到的激光始发方向,就可以准确地计算

出每一个地面光斑的坐标X、Y、Z。激光传感器发射的激光脉冲能部分地穿透树林遮挡,直接获取高精度三维地表地形数据。激光点云数据处理后,可以生成高精度的DEM、DOM等数据,具有传统摄影测量和地面常规测量技术无法取代的优越性,其绝对精度可在0.1~0.5m之间。它的优势在于范围大、地形复杂、生产周期短、数据精度高。

## 三、高性能机载激光雷达系统情况

近年来市场上机载激光雷达系统设备更新较快,目前主流激光脉冲频率在1000~2000kHz。在大型机载激光雷达系统领域,国产设备最高脉冲频率在800kHz以下,与国际设备厂商主流设备参数相差较大。

国际上,主流的LiDAR设备厂商有加拿大Optech,德国Leica,瑞士Riegl等,加拿大Optech在2022年发布了一款激光脉冲频率在4000kHz的双激光传感器的高性能机载激光雷达系统Optech Galaxy G2,并将该款机载激光雷达系统引入国内。

### (一) Optech Galaxy G2设备简介

Optech Galaxy G2系统是Optech最新推出的LiDAR+正射影像解决方案。该系统通过集成两台Galaxy T2000机载激光雷达系统,激光脉冲频率达到了2000kHz×2,并具备两种搭配方式,①Phase iXM-RS150F(1.5亿)工业相机+高(多)光谱相机②Phase iXM-RS280F(2.8亿,为2台1.5亿镜头集成)工业相机,使得激光点云数据获取效率成倍提升,影像分辨率更高,数据精度更高。Optech Galaxy G2激光雷达系统见图1。



图1 Optech Galaxy G2激光雷达系统

### (二) Optech Galaxy G2设备特点

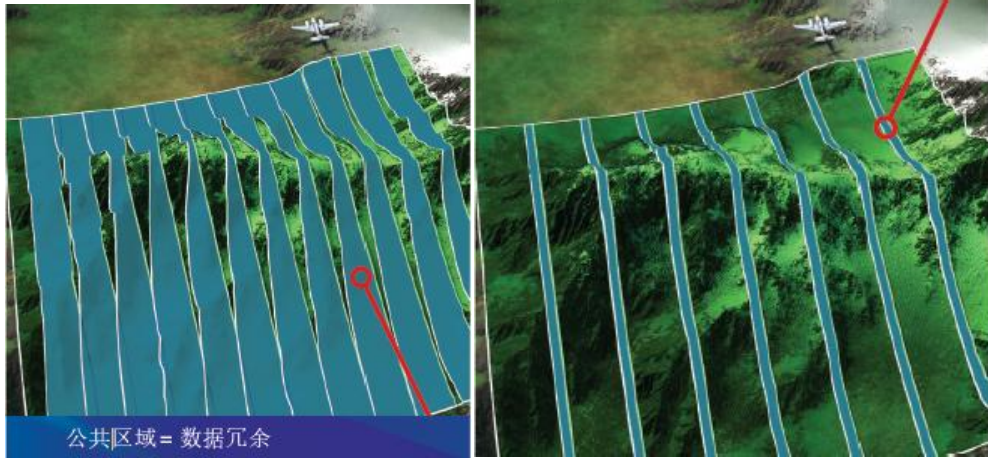
1. Galaxy G2设备可以“分而治之”,成为两套Galaxy T2000,可为不同任务同时提供两套独立的设备,既丰富业务应用类型,又能提高设备使用率。

2. Galaxy G2设备光斑从0.25mrad减小到0.16mrad。更小的光斑使得对茂密林地穿透能力更强,从而获取更多地面点。

3. 内倾前/后传感器 ( $\pm 5^\circ$  倾角) 可使飞行方向中整个扫描带宽内对目标进行向前向后的观察角度, 有助于增加垂直表面/物体的分辨率, 减少地面“阴影”或遮挡使, 提升地面覆盖率, 同时在目标上方经过两次, 以增加模型的整体密度和植被穿透成功率。其次, 倾角相对的传感器方向 (总计  $\pm 10^\circ$ ) 有助于在地面创建更规则的点云模式, 并避免了扫描线内点云密度重复, 还

能提升目标覆盖率为地形提供不同的视角。

4. Optech特有的SwathTrak技术可有效保证通过实时扫描地形变化来动态调整视场角大小, 从而在一定高差变化范围内保持恒定的扫描带宽和点分布密度 (减少航带边缘锯齿状), 使得Optech Galaxy G2设备相较同类设备在山区具备更良好点云分布和航带宽度, 作业效率相对提升38%, swath tracking技术见图2。



(a) 无swath tracking技术 (13条航带)

(b) 有swath tracking技术 (8条航带)

图2 swath tracking技术

#### 四、高性能机载激光雷达系统在密林地区输电线路通道中的应用

根据对多种机载激光雷达系统的调研分析及项目应用, Galaxy T2000激光设备在V级航摄困难地区 (高海拔、大高差) 获取的点密度仍可达到2个点/ $m^2$ 。

为应对密林地区输电线路通道在勘察设计阶段对激光点云密度和精度提出的更高要求, 特选取秦岭地区350km典型密林地段 (均为山地, 植被密集) 输电线路通道, 分别采用Galaxy G2设备、Galaxy T2000进行点云数据获取, 分析Galaxy G2在密林地区的作业效率、数据精度。

##### (一) 航空摄影作业效率分析

秦岭密林地区相对于一般地区来说航摄可飞行作业天气窗口较少, 本次航摄飞行时间为2023年6月, 秦岭地区晴天数仅为5天, 同时还要考虑空域管制对航摄飞

行作业的影响, 天气因素为制约本次飞行进度的最大因素。

仅考虑激光点云密度, Galaxy G2设备单架次飞行获取的数据量相当于Galaxy T2000设备两架次获取数据量, Galaxy G2作业效率是Galaxy T2000的两倍; 另外Galaxy T2000两架次飞行一般不会是连续进行的, 越是雨季往往时间线拉的越长, 而Galaxy G2在有限的天气窗口内尽可能的获取更多的数据, 航摄作业效率翻倍, 可以更好的推动工程进度。

##### (二) 机载激光雷达系统点云数据分析

1. 秦岭密林地区Optech Galaxy G2地面点云穿透情况

在秦岭植被覆盖较为密集区域, Galaxy G2机载激光雷达系统因其高频的脉冲频率及较小的光斑使得对茂密林地穿透能力更强, 如图3所示。

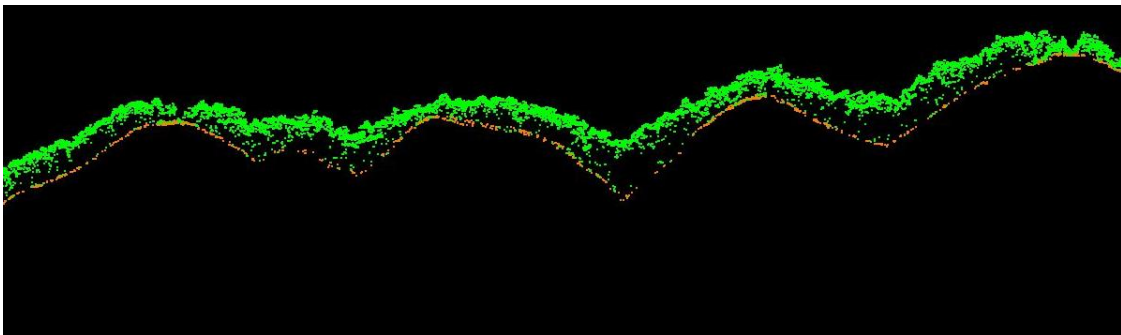


图3 秦岭密林地区Galaxy G2点云数据 (黄色点云为地面点云)

在密林边缘房屋较为密集区域, Galaxy G2点云数据仍能具备较好的林下穿透力, 内倾前/后传感器的设

计使得Galaxy G2点云数据可以提供房屋立面相关信息, 有助于现场人员进一步把握测区整体情况, 如图4

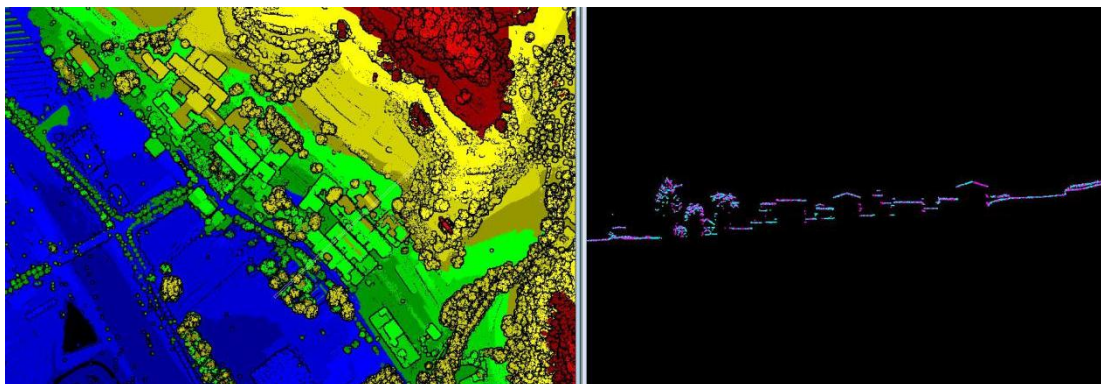


图4 密林边缘Galaxy G2点云数据

所示。

2. 秦岭密林地区Optech Galaxy G2点云密度分析  
对两个试验区数据获取的点密度情况进行对比，如表1所示。

表1 Galaxy G2和Galaxy T2000点密度比较（单位：点/m<sup>2</sup>）

	植被茂密山地	植被稀疏平地
总密度	4.55 (10.58)	2.95 (7.86)
有效地面点密度	0.46 (0.94)	1.68 (3.20)
备注：括号外为Galaxy T2000，括号内为Galaxy G2		

由表1可知，Galaxy G2激光点云数据的总密度、穿透植被至地面的有效点密度均大致是Galaxy T2000的两倍。更为高密度的点云数据可更为精细化的还原输电线路通道的情况，不仅可提升输电通道勘察设计阶段的精度，还可以延伸至输电通道三维设计应用提供基础数据。

3. 秦岭密林地区Optech Galaxy G2数据精度分析

对两个试验区数据获取的点云数据与现场实测的检查点进行对比分析，分析得到的点云数据精度如表2所示。

表2 Galaxy G2、Galaxy T2000精度比较（单位：m）

	实验段1高程中误差	实验段2高程中误差
G2	0.127	0.070
T2000	0.131	0.077
检查点	466个检查点	630个检查点

由上表可知，Galaxy G2与Galaxy T2000的精度水平基本相当，高程中误差0.10m左右，均能满足电力工程勘测设计要求。

### （三）适用性分析

根据电力行业相关规范要求，获取输电线路通道2km宽度范围内点云密度应不少于4个点/m<sup>2</sup>。使用激光脉冲频率较低的设备情况下绝大部分航线需降低高度双航带飞行，弥补激光发射频率不足；地形高程落差较大的航带，还需加大旁向重叠度缩短航线间距来确保点云数据不出现漏洞，高差特别大的地方甚至需要飞多条航带。

根据前期四川西部高海拔、大高差地区输电线路工程应用情况可知，Galaxy T2000机载激光雷达系统在航摄困难程度V级地区的极端情况下仍能够满足输电线路通道数据获取需要。由于G2机载激光雷达系统是由两台Galaxy T2000载激光雷达系统组合而成，故G2在同条件下点密度是Galaxy T2000的两倍，从现阶段电力行

业相关规范要求出发，Optech Galaxy G2设备更符合密林地区输电线路通道勘察设计阶段对激光点云数据的要求。

### （四）经济性分析

Optech Galaxy G2设备具备可编视场角功能，在空域限制的情况下，可以实时通过调整激光扫描角来保障航带宽度。同时该设备具备SwathTrak技术，在山林地中G2比同类型设备航带数更少，作业效率更高，可以大幅减少航摄工作量。Optech Galaxy G2设备以两台Galaxy T2000组合的特殊结构构成，同时Optech Galaxy G2可以“分而治之”拆开成为两套独立的Galaxy T2000机载激光雷达系统单独使用，可为不同类型任务同时提供两套独立的机载激光雷达系统，既丰富业务应用类型，又能提高设备使用率。从降本、提质、增效角度出发，Optech Galaxy G2设备不论单独使用，还是“分而治之”应用于两个项目，在满足输电通道勘察设计阶段点云数据要求的同时，两种方案都具备一定的经济性。

### 五、结语

Optech Galaxy G2机载激光雷达系统具有独特的“分而治之”的组合方式，可以拆分为两套独立Optech Galaxy T2000机载激光雷达系统单独作业，可同时保证两条输电线路通道开展航摄数据获取工作。在工期较为充裕的情况下，将设备性能国际领先的Optech Galaxy G2双激光头机载激光系统应用在单一项目上，可以获取高密度点云数据；在工期较为紧张的情况下，可拆分为2台Galaxy T2000设备灵活运用，满足点云密度和数据精度的同时可以减少大量航摄工作量，达到提质、增效、降本的要求。

高性能机载激光雷达航摄系统有助于解决勘测工期紧，密林区地面数据获取难度大等一系列难题，其点云数据建模之后断面精度更高，有助于进一步降低工程现场勘察工作强度，强化设计风险辨识，大大提升了电网工程输电线路通道勘察设计阶段工作效率。能够更好地为新时代电网工程建设提供优质服务。

### 参考文献

- [1]王玲玲. 机载激光雷达技术在山区高速公路勘测设计中的应用[J]. 公路交通科技应用技术版, 2010, 07(67): 115-117.
- [2]国家电网公司企业标准. 《±800kV直流架空输电线路勘测技术规程》. QGDW11407-2015