

# 多平台激光雷达技术在河道堤防测量中的实际应用与成效评估

梁锦辉

东莞市水利勘测设计院有限公司

**摘要：**本文以广东省某市海堤加固改造为实际案例，在对多平台激光雷达技术的相关理论、河道堤防测量的现状与问题进行探讨的基础上，从运用多平台激光雷达技术进行河道堤防的测量准备、数据采集、数据处理三个方面，对多平台激光雷达技术在河道堤防测量中的实际应用进行了探讨，并对多平台激光雷达技术在河道堤防测量中的应用成效进行了评估。

**关键词：**多平台激光雷达技术；河道堤防测量；实际应用与成效评估

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.22.081

## 引言

在河道堤防工程的测量中，以往，一般都是采用测量仪器进行人工测量。这种测量方法的缺陷是受天气自然因素的影响较大，而且操作起来也比较麻烦。随着科学技术的发展，近年来，非接触测量技术在大地和水利工程建设测量中得到了广泛的应用，其中，多平台激光雷达技术在工程测量中的运用就是其中一种。它不仅测量精度高，而且不受自然条件的限制，在水利工程建设测量中很受广大测量技术人员的青睐<sup>[1]</sup>。随着近年来数字化水利的发展，一方面要求加强BIM设计及全生命周期的应用，其次水利工程标准化管理也鼓励数字化应用、大数据应用，高精度的三维地形数据是堤防管理的基础。对此，本文以多平台激光雷达技术在河道堤防测量中的实际应用与成效评估为研究课题，以广东省某市海堤加固改造为实际案例做如下探讨。

## 一、多平台激光雷达技术相关理论概述

### （一）激光雷达技术的内涵

激光雷达技术是21世纪以来最具创造性的技术之一，它主要适用于遥感领域和摄影测量。激光雷达技术又称LIDAR，是英文LightDetectionandRanging的缩写，激光雷达技术系统由动态差分技术的UPS装置（DUPS）、高精度惯性测量装置（IMU）、以及高精度激光测距仪共同组成。其中：IMU（高精度测量装置）主要用于测量飞机实时动态的数据；UPS主要用于确定传感器的空间位置；激光测距仪主要是通过发射脉冲信号和接收脉冲信号，获取高精度和高密度的点云数据。通过对激光测距仪、UPS、IMU三种技术的集成，可以获取地面的三维坐标，完成数据集成。激光雷达技术系统的工作原理是：首先，向目标地发射雷达信号并接收反射信号；然后，对发射信号和接收信号进行比较，并进行处理获取信息。激光雷达技术的优势有三：一是可以准确获取地面高程数据；二是可以透过地面覆盖物获取地面信息；三是可以不受天气和自然因素的影响，全天候的工作<sup>[2]</sup>。激光雷达技术的工作原理可参见图1所示。

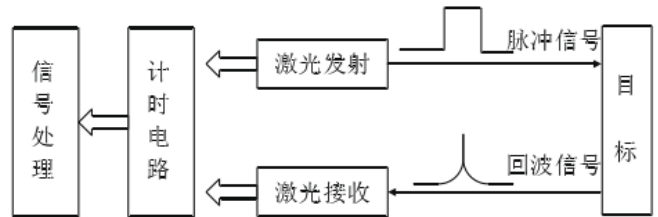


图1 激光雷达工作原理

## （二）多平台激光雷达技术概述

多平台激光雷达技术是指根据工程测量的不同具体情况，将激光雷达技术系统安装在不同的载体平台上，进行地物测量，比如机载激光雷达技术、车载激光雷达技术、背包激光雷达技术等，这些不同平台雷达激光技术，即统称为多平台激光雷达技术。多平台激光雷达测量技术的特点有五：一是点云质量高，精度高，噪点少，激光传感性能高。二是双天线接口设计，一般适用于船载、车载。三是卡口式安装，快捷式拆装。四是大容量存储硬盘，海量点云数据可直接进行存储，无须进行数据转存。五是多次回波技术可在植被区域测量，可自动滤除植被，获取精确的地面高程点，并输出DEM和DSM<sup>[3]</sup>。

## （三）机载激光雷达技术概述

机载激光雷达技术是指运用无人机搭载激光雷达设备，进行地面测量的技术，称之为机载激光雷达测量技术。机载激光雷达技术的特点有三：一是能够穿透植被，获取地表高程测量数据；二是不受天气因素影响，可以全天候工作；三是工作效率高，操作灵活便捷。四是具有广阔的应用前景，适用于水利工程测量、资源勘察、森林调查、地形测绘等<sup>[4]</sup>。

## 二、河道堤防测量的现状与问题

在水利工程河道堤防测量中，目前使用的测量手段主要有两种：一种是用测量仪器进行人工测量；二是航空摄影测量技术进行测量。这两种测量方法虽然也能取得较好的测量效果，但受制约的自然因素比较多，影响了测量的效果。归纳起来主要有三个方面。

### （一）测量仪器设备相对比较落后

水利工程项目的测量，对测量成果的精度要求都比较高，一般都需要满足1:2000的比例尺精度，部分特殊工程甚至要满足1:1000或1:500的比例尺精度，而目前，水利施工单位使用的传统测量仪器，是很难满足这一要求的<sup>[5]</sup>。

### （二）受自然因素的制约影响比较多

水利工程测量受自然因素的影响主要有三个方面：一是“风”；二是“光”；三是“水”。风的影响主要表现在，在有大风的作业环境中，测量仪器难以固定，

影响测量数据的准确性。光的影响主要表现在，在遇到阴天的作业环境时，光线就会比较微弱，影响读数的精确度。水的影响是，很多水利工程测量都要在水中进行作业，由于水的折射的性质影响，容易出现读数的误差<sup>[6]</sup>。

### （三）河道堤防的环境因素影响

河道堤防两侧一般都有植被和村庄，有不少地段还存在带状分布，这就给传统的测量仪器测量带来了很大困难，而且工作效率也不高，不利堤防工程测量的准确性。

## 三、应用案例概况

### （一）测量区域概况

案例海堤地属广东省某市，经济发展的战略地位显赫。为了提高防洪标准，经某市市政府研究决定，对该市区域范围内的海堤进行达标加固建设，其堤防加固防洪标准从50年一遇提高至100年一遇。

### （二）工程区域测量内容

本次海堤加固的测量地形图测量比例尺为1:500精度。由于该海堤紧邻深圳，大部分处于航空禁飞区域内，不能使用机载激光雷达技术进行测量，再加上海岸边有较多的村镇分布，因此，只能采用背包式与车载式相结合的多平台激光雷达技术进行测量，获取高程数据。

## 四、多平台激光雷达技术在河道堤防测量中的实际应用

### （一）运用多平台激光雷达技术进行河道堤防的测量准备

采用车载式和背包式搭载激光雷达测量系统进行测量作业。必须在开始作业之前做好准备工作，主要是勘察测量现场地形、人口密度情况、确定基站架设的位置，以及了解区域气象天气、风力等方面的情况。为了避免干扰附近居民生活以及避开交通高峰期，作业时间选择在晚上进行。

### （二）运用激光雷达技术进行河道堤防测量中的数据采集

#### 1. 认真进行路线规划

根据事前勘察情况，本次测量采用黄色、蓝色和红色三条激光雷达采集线路进行测量。标明蓝色和黄色的线路，表明可以进行车辆行驶，能够使用车载式激光雷达技术进行测量，采集测量数据；标明红色的线路，表明测量范围区域内房屋密集，无行车马路，只有人行道路，只能采用背包式激光雷达技术进行测量，获取测量数据。

#### 2. 实施车载和背包数据采集

实施车载数据采集的流程是：首先，要做好车载数据采集前的准备工作。在数据采集车辆还未进入采集区域前，要对GNSS和IMU进行校准，对POS系统进行初始化，选择车载的起始地点，并将车辆静置5min。然后，才能开始启动车辆。车辆启动后，要先将车辆向左走一圈，再向右走一圈，这样，可以做可以减少IMU的累计误差。最后，才能进入数据采集阶段。在进行数据采集的过程中，要注意三件事情：一是车辆要尽量在马路中

间行驶，要远离马路两旁的建筑物和树木；二是车速不能超过60km/h，要匀速行驶；三是车辆在行驶中要避免与其他车辆并行，以方便数据采集；四是数据采集之后，要将车辆开往开阔地带停放，车辆停车5min之后，开始进行GNSS静态测量。

实施背包数据采集主要是针对不能进行车载测量的地方，如不能进行车辆行驶的背街小巷，为了保证数据采集的完整性，以背包数据采集进行补充。

实施背包激光雷达技术和车载激光雷达技术进行数据采集，要严格控制基站的设置。一般讲，基站站点应设置在数据采集的中间地段，基站两端的距离，最远不能超过2km。

### （三）运用激光雷达技术进行河道堤防测量中的数据处理

本课题研究所使用的AS-900HI多平台激光雷达测量系统，在使用背包式和车载式激光雷达技术，对海堤进行测量时可以根据扫描频率，获取不同距离和密度的点云数据。为了获取高质量的测量数据，还需要对背包采集、车载采集的点云数据进行精度检验、点云分类、GPS/IMU联合解算、POS数据质量检验和数据完整性检查等。具体的数据处理路线，详见图2所示。

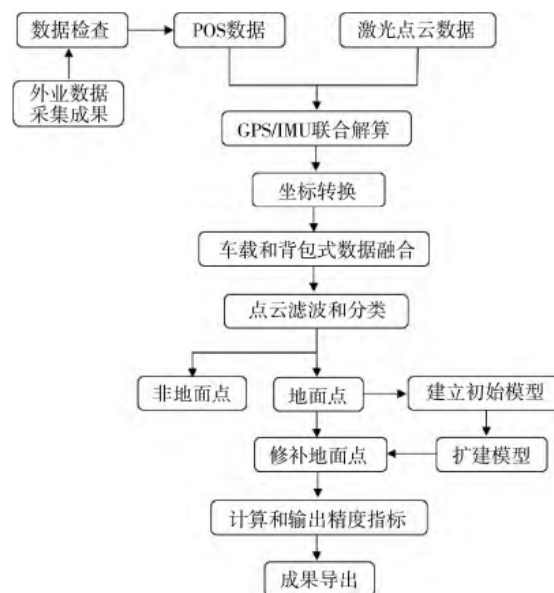


图2 内业数据处理技术路线示意图

## 五、多平台激光雷达技术在河道堤防测量中的应用成效评估

### （一）对测量精度进行检测

使用多平台激光雷达测量系统对沿线堤防进行测量数据的采集和处理是影响精度的关键因素。因此，必须对点云数据的精度进行分析，尤其是点云的高程精度，需要通过外业采集检验点与处理后的点云数据进行比较评价。

由于激光点云是对目标表面离散不规则分布点的位置描述，密度与光斑大小、激光器发射频率、飞行速度等因素有关，故很难准确地找到控制点所对应的激光脚点。因此，本文采用内插特征点对比分析法对数字高程

模型的精度进行分析。

内插特征点对比分析其实质是根据已知数据点利用多项式，对一定区域内的表面空间形态的拟合，通过计算机运算，按照一定要求计算分布格网点的高程值。通过在格网点中找出明显地物特征点的坐标，如线状地物的交点、房屋角点等，并用GPS或全站仪测量出这些特征点的坐标。将内插坐标值与测量坐标值进行对比分析与统计，得到点位精度。

根据《基础地理信息数字成果1：5001：10001：2000数字高程模型》（CHT9008，2-2010）规定中的高

程中误差确定数字高程模型的精度，高程测量中的误差计算，拟用公式如下：

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (R_b - Z)^2} \quad (1)$$

公式说明：（1） $\delta$ 代表DEM中的误差值；（2） $n$ 代表检查点个数；（3） $Z$ 代表检查点高程；（4） $R_b$ 代表内插出的DEM高程。

本次检查共在现场随机均匀采集了30个检查点，高程误差分析结果和点云高程精度统计结果分别见表1和表2。

表1 高程精度检查表

序号	云点高程	检查点高程	较差值	序号	云点高程	检查点高程	较差值
1	4.548	4.545	-0.003	16	4.772	4.764	-0.008
2	4.572	4.58	0.017	17	4.702	4.673	-0.029
3	5.162	5.191	0.029	18	4.848	4.824	-0.024
4	4.673	4.659	-0.014	19	4.822	4.812	-0.01
5	4.308	4.377	0.059	20	4.837	4.817	0.02
6	4.385	4.44	0.055	21	4.812	4.793	-0.019
7	4.502	4.511	0.009	22	4.824	4.811	0.013
8	4.554	4.596	0.042	23	4.856	4.885	0.009
9	4.705	4.713	0.008	24	4.943	4.926	-0.017
10	4.746	4.752	0.005	25	4.852	4.877	0.025
11	4.662	4.663	0.001	26	4.897	4.881	-0.018
12	4.658	4.68	0.002	27	4.85	4.834	-0.016
13	4.625	4.613	0.012	28	4.83	4.823	0.003
14	4.91	4.903	0.007	29	4.928	4.927	-0.001
15	4.864	4.853	0.011	30	5.029	5.032	0.003

表2 点云高程精度统计表

数据名称	检测点（个）	误差最大值（m）	误差平均值（m）	中误差（m）
点云数据	30	0.068	0.02	0.02

（二）对测量精度的分析与评价

1. 高程误差情况

详见表1和表2。

2. 高程误差分析与评估

第一，从表2中可以看出，大多数的高程较差在士0.02m以内，最大为0.0698m，说明此次采集的点云数据高程精度可靠。

第二，从表2中还可看出，检查点的高程中误差为0.02，高程精度完全满足1：500地形图的要求，可用于堤防地形图的制作。

第三，经过数据处理和外业精度检验，本文所做的高程精度检测完全符合相关规范要求，可用于满足高精度地理信息数据产品的生产需要。对类似水利工程测量的应用具有参考价值。

结语

综上所述，本文以广东省东莞市海堤加固改造为实际案例，结合目前河道堤防测量的现状与问题，从运用多平台激光雷达技术进行河道堤防的测量准备、数据采集、数据处理三个方面，对多平台激光雷达技术在河道

堤防测量中的实际应用进行了探讨，并对多平台激光雷达技术在河道堤防测量中的应用成效进行了评估。本课题研究具有实际应用价值。

参考文献

[1]包善文. 航空摄影与机载激光雷达集成技术在水利测量中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2023, 46 (S1): 236-239.

[2]李兵, 吕扬, 周庆等. 机载激光雷达技术在北方河道整治中的应用[J]. 北京测绘, 2018, 32 (03): 322-326.

[3]杨卫. 机载激光雷达技术在高山区水电工程测绘中的应用[D]. 西南交通大学, 2016.

[4]马杰, 孙志强, 姚正明. 机载激光雷达技术在水北调河道测量中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2022, 45 (S1): 272-274.

[5]辛齐, 左婧. 机载激光雷达在黄河下游河道测验中的应用[J]. 人民黄河, 2021, 43 (S2): 280-281.

[6]李慧. 浅谈机载激光雷达技术在水利工程中的应用[J]. 水利技术监督, 2021 (11): 50-52+82.