

# 无人机载激光雷达 在监测海岸侵蚀方面的应用

## ——海岸线地形测量

文/米歇尔·阿森鲍姆

法国地中海沿岸自然环境复杂，有着在地质、气候和海洋相互作用下不断重塑的沿岸景观。海岸侵蚀和饮用水供应是沿海管理的两个主要问题，因此需要密切监测海岸线的形态变化情况。基于这一需求，使用无人机载激光雷达，以高效率和高精度的作业模式在该区域进行全面的地理测量，并计划在未来两年内进行多次复测。本文将详细介绍在一次测量中的背景、技术方案要点及其成果。

法国的鲁西荣平原，是佩皮尼昂周边相对密集的聚落地。每年夏天，农业灌溉与大量的游客给饮用水储备需求带来了很大压力。与此同时，海岸基础设施和气候变化影响了海岸的形态，造成海岸侵蚀，或大或小导致咸水渗透到用于饮用水集水区的一些地下水储备中。法国地质调查局（BRGM）领导的一个有若干私营公司和公共实验室参与的区域财团已经成立，旨在彻底调查地下水的可用性和可扩充性；该项目名为DEM' EAUX，它的另一个目标则是在这一特定背景下实施和演示新的调查技

术。法国某一LiDAR集成商负责为海洋学家和地质学家提供激光雷达设备，进行海岸测量和变化监测，并创建沉积/侵蚀模型。此次航飞测量试验区选在泰特河（Têt）河口（见图1）。Têt源自比利牛斯山脉，河水流量波动很大，也是这一原因导致它的河口经历了戏剧性的形态演变，但这与季节性气候下极端的气象事件如洪水和风暴也有很大的联系。

### 技术方案

尽管BRGM早已使用摄影测量技术对海岸区域进行监测，但激光雷达测量相比起来仍然具有多方面的优点：

（1）当测量区域有植被覆盖时，激光雷达测量能提供更精确的数字地形模型（DTM），在沙丘地区就是这样。

（2）激光雷达的数据处理速度比无人机摄影测量更快，效率更高，这样就可以扩展海岸线的测量区域。无人机载激光雷达几分钟时间内的作业范围可达900米。

（3）激光雷达对于弱纹理表面的处理

效果比摄影测量更好（这一点还需要更全面的数据比较来得到证实）。

本次测量仪器采用的是类似于征图SZT-V100的激光雷达系统，该系统基于VelodyneVLP16激光扫描仪。之所以选择它是因为它高效率（在 $360^{\circ} \times 30^{\circ}$ 角度范围内扫描频率为300,000次/秒）和高精度的特点（与平坦地面上的独立测量相比，精度通常要优于5cm）。

### 测量和数据预处理

测量区域涵盖了900米长的海岸线，向内延伸到内陆100米。在飞行高度为海拔30米，地速为5米/秒的条件下进行了两次测量，获得了4300万点的点云数据，典型的密度为400点/平方米，这一数据远远超出了侵蚀/沉积监测需要。另外，实际测量区域也超出了预测区域100米。

首先处理激光雷达系统中记录的轨迹信息；由PPK处理后的轨迹提供2cm精度的预估位置和 $0.025^{\circ}$ （滚动/俯仰）和 $0.08^{\circ}$ （航向）精度的角度；再处理从后处理轨迹和激光雷达传感器数据中生成的LAS文件；最后进行细线匹配和分类。

### 点云分类和质量评估

点云一共分为五类：地面、水域以及根据高度区分的三类植被或地物。在冲流带区域区分陆地回声波和海洋回声波是相当有难度的；因为冲流区的波浪和水面高度的变化，使得海滩若隐若现。在一些地方，瞬时水面远远高于平均水面，所以基于海拔高度进行粗略筛选是不适用的。在点云中，波浪会被划分为类似于低植被的地物，因此从数据中提取信息需要进行手动分类。从陆地到海洋的过渡以两个标准为特征（见图4和图5）：

（1）海水中的点密度减小，因为海面将许多激光点反射到了其他方向；

（2）点云的垂直厚度由于海水的垂直运动而增加。在某些情况下，当测量扫描期间冲流区未被波浪覆盖时，就能得到这一区域的陆地地形。

在激光雷达测量的同时，也进行了陆地和水



图1 实验测量区域：泰特河河口景观



图2 无人机载激光雷达系统

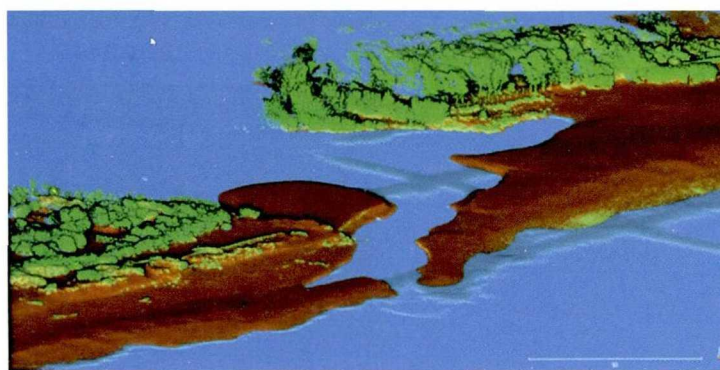


图3 分类点云。  
海面回声波仅存在于无人机飞行轨道的下方区域和冲流带；其他区域水面以浅蓝色着色

深测量。来自法国地质调查局的Yann Balouin提供土地调查数据,并用RTK进行了测量验证。

比较土地测量收集的点与LiDAR数字地形模型中的点,平均误差(偏差)为4.0cm,Z的标准偏差为9.5cm,这明显大于在道路或混凝土等轮廓分明的表面测量的误差(2.5-5.0cm)。这么大的误差主要是因为土地测量结果来自具体抽样,着重点在陆地和海洋的交界处,而在这一区域中,地面点和海滩上陡坡点的分类是最困难的(见图1),点云到DTM产生的插值是预期会产生的最坏结果。鉴于海滩上的沙地远不如其他坚硬的测量参考面,在一个脚印就有5cm的压痕这种非常苛刻的测试条件下,得到的精度已经非常理想了。

### 结语及后期测量

第一次测量证实了无人机载激光雷达的

适用性,可以在形态变化的背景下对沿海地形进行全面的测量。本次测量的点密度实际上过高,但可以在不丢失任何信息的条件下降低密度。

目前,在使用无人机载激光雷达进行测量时,主要的局限性在于对超出视距范围内无人机飞行测量的限制。根据目前的设置和现行法规,一个团队在市区或禁区以外的有利条件下,每天可以合理地进行长达10公里海岸线的测量。使用固定翼无人机,并且持有民航当局相关许可证的条件下,只要能够确保飞行的安全性和无人机的可靠性,技术上可以实现超过100公里的飞行测量。

关于DEM'EAUX项目,该测量团队正在等待下一个冬季风暴的来临,预计在风暴后第二天开始新的测量并量化地形的变化。这种作业灵活性是无人机测量的一大优势。预计未来两年内的一系列复测将给我们带来河口动态的全新面貌。[44]



图4 冲流区(50cm厚)点云的垂直横截面。



图5 平均海平面(蓝线)、不同时刻的海平面(蓝色虚线)和激光雷达测量点(红点)。

译者:彭嘉婷,译自Michel Assenbaum的Monitoring Coastal Erosion with UAV Lidar,荷兰杂志GIM INTERNATIONAL,第二期,2018(18-21)。有删减。

原文链接: <https://www.gim-international.com/content/article/monitoring-coastal-erosion-with-uav-lidar>

《中国测绘》出于传递资讯的目的刊登此文,不代表本刊观点。