

# LiDAR 技术用于我国海岸线测量的优势对比分析

姜怀刚<sup>1,2</sup>, 于 英<sup>1</sup>, 务宇宽<sup>3</sup>, 赵宝林<sup>4</sup>, 董广军<sup>1</sup>

(1. 信息工程大学 地理空间信息学院, 河南 郑州 450001; 2. 海图信息中心, 天津 300450;  
3. 32021 部队, 北京 100094; 4. 32336 部队, 西藏 拉萨 850000)

摘要: 在比较全面的梳理当前国内外海岸线测量技术发展现状的基础上, 重点讨论了 LiDAR 测量法相比传统人工实地测量法、摄影测量法和 SAR/InSAR 测量法在海岸线测量方面的优势, 并进一步论述了在我国开展 LiDAR 技术测量海岸线的可行性与必要性, 为我国海洋测绘领域研发或引入新技术、新装备奠定了理论基础。

关键词: 摄影测量; LiDAR; SAR/InSAR; 海岸线; 识别分类; 光子计数

中图分类号: P237.9 文献标志码: B 文章编号: 1671-3044(2020)02-0041-06

## 1 引 言

我国海岸线总长 35 800 多千米(含港澳台), 其中, 大陆岸线 19 000 多千米, 岛屿岸线 16 700 多千米<sup>[1-2]</sup>。全面、高效、精准地测定海岸线位置、属性及其动态变化, 对经济建设和国防建设具有十分重要的现实意义。

我国海岸线资源丰富, 传统人工实地测量法曾为我国全面、准确测量海岸线发挥了重要作用, 但如今不能满足快速、准确的测定海岸线位置的现实需求, 因此发展全新的海岸线测量技术势在必行。

我国对海岸线的定义及测量方法有明确的规定, 国家标准《海道测量规范》(GB 12327-1998)<sup>[3]</sup>中明确规定“海岸线以平均大潮高潮时所形成的实际痕迹进行测绘”。目前海岸线测量的方法分为传统人工实地测量法、摄影测量法、SAR/InSAR 测量法和 LiDAR 测量法, 其中后 3 种方法应用于海岸线测量时其核心技术是海岸线提取(为方便读者后面阅读, 这里进行说明)。LiDAR 技术是继 GPS 技术以来在测绘领域内的又一场技术革命。从本世纪初开始, 美国利用了约十年时间开发、测试和完善了基于 LiDAR 技术的海岸带测绘程序<sup>[4]</sup>, 海岸线提取结果符合相关国际标准的要求。

本文对比分析了当前海岸线测量的方法的优缺点, 重点阐述了 LiDAR 技术用于我国海岸线测量的可行性与必要性。

## 2 我国海岸线传统测量

长期以来, 我国海岸线测量主要采用光学仪器或卫星定位测量等实地测量的传统模式, 针对该方法的特点并结合我国海岸类型情况, 海岸线传统测量现状具有以下特点。

(1) 不同测量人员因判别经验不同导致对痕迹线位置的判断有一定差异, 同一测量人员在不同时刻观测同一痕迹线时位置也有差异。因此, 人工量测痕迹线的误差可能很大, 且难以被量化<sup>[5]</sup>;

(2) 我国基岩岸线和淤泥质岸线分别占海岸线总数的 38.75% 和 5.61%<sup>[1-2]</sup>, 这两种岸线由于特殊的地质构造, 传统测量法施测困难, 且在测量时具有极大的危险性;

(3) 实地测量法在采集大范围数据时费时费力, 难以满足地理信息产业对数据快速采集及更新需求。

## 3 基于 LiDAR 技术海岸线提取方法

目前 LiDAR 技术提取海岸线主要有两种方法: 交叉海岸剖面法和等值线追踪法。

### 3.1 交叉海岸剖面法

Stockdon 等<sup>[6]</sup>提出的交叉海岸剖面法提取海岸线, 其流程见图 1, 该方法提取的海岸线精度取决于海岸剖面数  $N$ ,  $N$  越大则提取的海岸线与实际海岸线越吻合, 因此存在计算量大的缺点, 其实用性不高。

收稿日期: 2019-09-09; 修回日期: 2019-10-27

基金项目: 国家自然科学基金(41501482)。

作者简介: 姜怀刚(1990-), 男, 山东潍坊人, 助理工程师, 硕士, 主要从事海洋遥感数据智能处理研究。

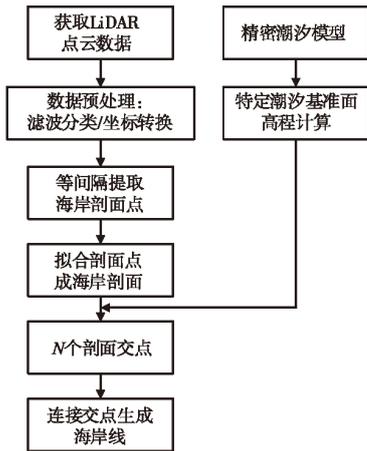


图 1 交叉海岸剖面法流程图<sup>[6]</sup>

### 3.2 等值线追踪法

Robertson 等将等值线追踪法提取的海岸线与高分辨率影像提取的海岸线做了对比分析,结果显示机载 LiDAR 技术比摄影测量技术提取的海岸线更精确<sup>[7]</sup>;美国国家大地测量局(NGS)采用等值线追踪法提取海岸线,这也是当前 LiDAR 技术提取海岸线的主流方法,其核心流程见图 2。由于受地形条件影响,等值线追踪法提取的海岸线过于破碎和曲折,这增加了后期数据处理的工作量。

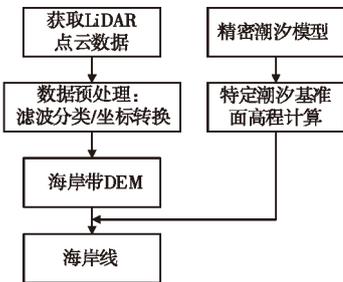


图 2 等值线追踪法流程图<sup>[4]</sup>

于彩霞、张良等在等值线追踪法的基础上对海岸线进行了平滑<sup>[5]</sup>,但平滑过程中不可避免的会降低提取精度且步骤相对繁琐,若要提取多种潮汐基准面等值线时,需重复将海岸带 DEM 或点云数据转化为水陆二值图像,降低了作业效率。

## 4 LiDAR 技术海岸线测量优势及技术比较

从美国国家大地测量局(NGS)海岸线产品数据源中可以看出(图 3),可见光影像是其海岸线资料更新的主要数据来源。目前 LiDAR 技术无法完全取代摄影测量技术,但大量国内外研究表明,除极为平缓的淤泥质岸滩处, LiDAR 技术适用于所有类型岸线的提取,本文对几种提取海岸线的技术手段进行了对比。

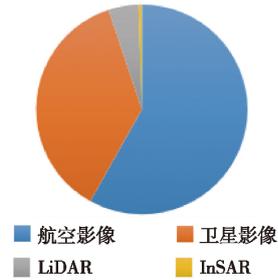


图 3 NGS 海岸线产品数据源构成示意图<sup>[8]</sup>

### 4.1 LiDAR 技术与 SAR/InSAR 技术对比

20 世纪 90 年代以来,大量学者利用 SAR 影像对海岸线提取进行了研究,如: Lee 等提出的边界追踪算法; Malladi 等提出的水平截集法等分别实现了对瞬时水边线的提取<sup>[9]</sup>;王志勇等利用 InSAR 影像构建了海岛 DEM 及瞬时水边线<sup>[10]</sup>。该方法提取的皆为瞬时水边线,其只能在精度要求不高的情况下作为海岸线的替代产品,且相对于其他技术手段而言, SAR/InSAR 的定位精度不高。

SAR/InSAR 作为主动式遥感探测技术,与 LiDAR 技术有一定相似性,主要区别表现如下。

(1) LiDAR 技术与 SAR/InSAR 技术相比具有更强的穿透力,在植被茂密地区和近海浅水区的地形测量方面具有更大优势;

(2) LiDAR 技术直接获取目标的空间位置、回波强度等信息,且自动化程度较高,而 SAR/InSAR 影像在实际应用中存在影像覆盖范围大、地面控制点布设困难、数据解译困难以及数据后期处理成本高等问题<sup>[9]</sup>;

(3) SAR/InSAR 影像在地形复杂区域存在阴影和层叠现象,导致地形数据缺失,而 LiDAR 技术不受阴影影响且其生成的产品具有更高的精度;

(4) SAR/InSAR 技术能在偏远易受云雾遮挡地区获得高分辨率影像数据,且其获取数据效率更高,在大范围地形变化监测方面更有优势。

### 4.2 LiDAR 技术与摄影测量技术对比

美国国家大地测量局(NGS)测绘海岸线的主要方式是在数字摄影测量系统立体模式下利用潮汐数据进行采集的人工提取法,从本质上分析,该方法是实地测量法在遥感影像上的另一种实现。李传龙等、申家双等分别利用计算机自动解译法提取了海岸线<sup>[5,11]</sup>,但该方法多为提取瞬时水边线或在其基础上进行了位置改正,未考虑瞬时水边线位置具有不确定性的特点,存在提取方法不通用且精度受限于影像分辨率的问题。

LiDAR 技术和摄影测量技术在某些方面具有

相似性,如两者皆需要 GPS/IMS 和摄影测量传感器;采集数据时都会受到天气影响;都能满足大比例

尺地形测量精度要求,LiDAR 技术与摄影测量技术主要区别见表 1<sup>[5,9,12]</sup>。

表 1 摄影测量技术与 LiDAR 技术对比

对比项目	摄影测量技术	LiDAR 测量技术
平台	适合不同安装平台	对平台要求较高,且往往需要改装
操作性	作业计划简单,对操控人员要求不高 探测距离可达数百千米以上 用于陆部地形测量	作业计划和操作相对复杂 探测距离一般在几千米以内 可实现海陆无缝对接
设备性能	成像范围大,采集效率高 系统构成简单,可靠性好 系统寿命可达数十年且造价低 受天气、光照及阴影影响较大 采集的数据含有丰富的形状、大小、颜色、纹理等判读特征 理论上可用波段是无限的 穿透能力较弱	视场角相对较小,采集效率较高 系统构成复杂,影响测量精度因素多 系统寿命约为 10 000 h 且造价高 受天气影响较小;不受光照、阴影影响 能提供三维坐标、强度、光源波段、偏振等便于辐射与几何校正的信息 所确定的可用激光波段有限 穿透能力较强
生产能力	DSM、DEM、DOM、DLG 生产技术成熟,但过程复杂 效率和成本容易估算且难以进一步降低 自动化程度较低	生成 DSM、DEM 方便高效;尚无成熟方法生成 DOM 和 DLG 效率和成本视数据和产品而定且降低空间大 自动化程度高
产品质量	平面精度高,比高程精度高 1/3 受人的主观因素影响大	高程精度高,比平面精度高 2~5 倍 受人的主观因素影响小

LiDAR 技术能与摄影测量技术优势互补,其无需布控、定向等复杂处理过程,在效率、精度和成本上得到的新突破为海岸线严谨与客观测绘提供了契机。

## 5 不同类型 LiDAR 系统应用于海洋测量的技术特性分析

根据测绘领域所关注的探测精度、探测距离及对目标识别分类能力的不同,可将 LiDAR 系统按照以下 3 种方式划分类型,根据平台不同,可分为机载、船载和车载 LiDAR 系统;根据激光器所发射激光波段的不同,可分为不同波段的 LiDAR 系统;根据探测体制的不同,可分为线性探测体制 LiDAR 系统和光子计数 LiDAR 系统,现将不同 LiDAR 系统特点进行分析。

### 5.1 不同平台 LiDAR 系统特点对比

为使 LiDAR 系统能够满足不同精度及不同目标模型的重建需求,会将其搭载在不同平台上。车载和机载 LiDAR 系统在数据获取上具有高效、高精度的特点,在城市三维建模,目标提取等方面应用广泛;船载 LiDAR 系统有着特定工作环境,能采集到地面和空中平台所不能采集到的数据,在海岸带海岛礁测量方面具有重要的实用价值,其与车载 LiDAR 系统在扫描角度和扫描距离上具有很大相似性,很多搭载在车载平台上的 LiDAR 系统也可以

搭载在船载平台。

不同平台 LiDAR 系统获取的数据具有很多相同点,但因扫描视角、扫描距离和扫描方式不同,造成采集的点云数据有很大差异。本文对不同平台的 LiDAR 系统之间及所采集数据的不同点进行比较分析。

#### (1) 视场角不同

机载 LiDAR 系统采用俯视角进行观测,获取的侧面点云数据较少,对于坡度较陡的海岸,机载 LiDAR 系统难以开展有效作业;车载 LiDAR 系统受道路限制其机动性能无法适应海岸带地形,且其在岸上对海岸带以斜下视的角度进行扫描会存在较大盲区;船载 LiDAR 系统可采集到机载 LiDAR 系统无法获取到的立面信息,通视性好、灵活性和可靠性较高。因此,从视场角方面分析,机载和船载 LiDAR 系统更适合海岸线测量。

#### (2) 数据在三维特性上有差异

机载 LiDAR 系统获得的是目标顶部信息,因此,平面坐标  $XY$  与高程坐标  $Z$  一一对应,即 2.5 维特性;车载和船载 LiDAR 系统获取的是目标侧面信息,不仅平面坐标  $XY$  不与高程坐标  $Z$  一一对应,且  $YZ$  坐标与  $X$  坐标及  $XZ$  坐标与  $Y$  坐标也不一一对应<sup>[13]</sup>。

#### (3) 数据精度不同

车载和船载 LiDAR 系统扫描距离较近,数据精

度能达到毫米级; 机载 LiDAR 系统扫描距离一般在几百米以上, 数据精度能达到 10 cm, 文献 [4] 表明, 点云数据精度越高, 所采集的海岸线精度越高, 因此, 根据船载 LiDAR 点云衍生出的海岸线精度较高。

#### (4) 点云密度不同

不同平台的 LiDAR 系统移动速度、扫描距离和扫描角度不同, 使得点云密度差别很大。机载 LiDAR 系统获得的点云密度一般在每平方米几个到几十个, 无法有效反映一些较小目标的细节信息; 车载和船载 LiDAR 系统扫描距离较短, 获得的点云密度在每平方米几十个到上千之间; 船载平台会随波浪在水面上左右摇动和上下起伏, 造成点云数据存在过密或过稀区域。

#### (5) 作业效率不同

机载平台机动性强, 作业效率高; 车载和船载平台易受工作环境影响, 机动性远不如机载平台, 作业效率相对较低。

#### (6) 系统组成不同

工作环境不同导致搭载平台的不同; 视场角不同使得激光器扫描构件不同, 机载测量系统主要采用之字形、椭圆形等俯视方式扫描, 而车载和船载测量系统在水平方向和垂直方向进行侧视双轴扫描。

#### (7) 应用范围不同

机载 LiDAR 系统适用于大部分海陆目标测绘、三维建模及短时间大范围地形动态应急监测; 船载 LiDAR 系统仅用于海岸带和海岛礁等水上目标的测绘; 车载 LiDAR 系统多用于道路测绘、城市建模等。

### 5.2 不同波段的 LiDAR 系统

从红外波段到紫外波段都有激光的存在, 除普通光所具有的特点外, 激光还具有亮度高、方向性好、对地物具有一定穿透性等优点。在对地观测领域, 激光发射材料和粒子能级跃迁所确定的可用激光波段是有限的, 常见的 LiDAR 系统采用绿色 532 nm 和近红外 1064 nm、1550 nm 的 3 个波段之一。

海岸带地物丰富, 大致可分为植被、岩石、沙滩、粉沙淤泥、人工地物、海水 6 类, 这些地物对不同波段的激光有着不同的反射光谱特性, 主要表现在对激光的反射率和点云数据回波强度的不同, 见图 4。

由图 4 可知, 海岸带地物反射光谱曲线总体差异较大, 但在个别波段处会有所接近或重合, 在 532 nm 和 1550 nm 波段及附近, 大部分海岸带地物的光谱反射率差异较小; 在 1064 nm 波段及附近, 只有部分地物光谱反射率较为接近。

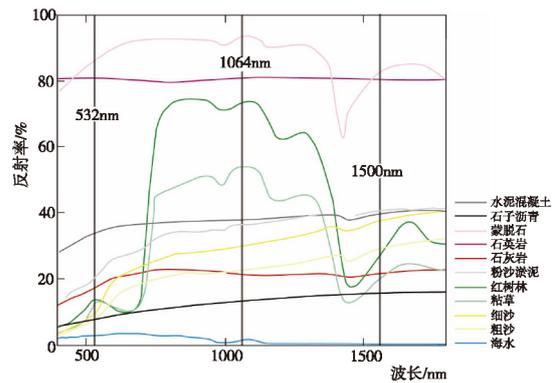


图 4 海岸带常见地物反射光谱曲线示意图<sup>[14]</sup>

通过以上分析可知, 在地物分类方面, 采用 1064 nm 波段的 LiDAR 系统能提供最大可分离性的点云数据, 其他波段的 LiDAR 系统可以辅助识别分类。国内外大量文献表明, 在利用三维坐标信息的基础上, 单个或多个波段的激光回波强度信息在地物识别与分类的过程中可以发挥重要作用。

#### 5.2.1 基于 LiDAR 技术的地物分类研究现状

Antonarakis 等的研究表明, 点云数据对地物分类的精确性不低于高光谱影像数据<sup>[15]</sup>; Juan 等验证了 1064 nm 波段比 532 nm 和 1550 nm 波段的点云数据对地物的可分类程度高<sup>[16]</sup>。

2014 年底, 加拿大 Optech 公司推出了世界上第一台商业机载多光谱 LiDAR 系统 Titan, 该系统能同时采集 3 个通道 (1550 nm、1064 nm 和 532 nm) 的点云数据, 1064 nm 波段的激光器位以 0° 正对地面, 532 nm 和 1550 nm 波段的激光器分别以 7° 和 3.5° 的角度指向最低点前方, 3 个激光器的方向设计考虑到了最大限度地利用 1064 nm 波段对地物分类的能力。Titan 的出现开启了多光谱或高光谱 LiDAR 系统用于对地观测的新纪元<sup>[16]</sup>。Matikainen 等利用 Titan 进行地物分类实验, 成功划分了水、沙、砾石、混凝土、沥青、植被和建筑物等多种地物类别, 准确率高达 96%, 充分论证了 LiDAR 系统在地物及海岸线类型识别方面具有的应用价值<sup>[17]</sup>。

#### 5.2.2 问题分析

大多数激光传感器制造商不提供用于回波强度校正和几何校正的标准化参数, 使得点云数据较难进行误差校正, 限制了点云的位置和分类精度的进一步提高; 点云密度也是影响分类结果的重要因素, 而线性探测体制的 LiDAR 系统在较远距离的情况下很难采集高密度的数据点。

### 5.3 不同探测体制的 LiDAR 系统

#### 5.3.1 传统 LiDAR 系统的技术瓶颈

主流的 LiDAR 系统采用工作在线性雪崩增益

模式下的探测器,该探测器探测阈值较高,对光子不敏感,回波光子数在几百个以上才能被探测器所感应,由此带来的缺点主要表现在以下几个方面。

(1) 系统一般只能发射宽脉冲的单束光波,通过旋转扫描装置和平台运动来实现对整个测量区域的逐点扫描覆盖,激光重复频率低,此种工作模式限制了远距离测量时点云数据密度的提升;

(2) 系统测量距离有限,很难满足对境外感兴趣目标的信息获取,要实现更远目标的探测,必须提高出射激光功率或增大接收回波信号的望远镜口径,增加了系统设计难度和重量;

(3) 系统发出的高能激光会与光学系统中的挥发性物质发生相互作用,在光学镜片镀膜上形成吸附性沉积物,这些沉积物会吸收激光能量导致系统测量效果降低,甚至是造成激光器永久性损伤<sup>[18]</sup>。

### 5.3.2 光子计数 LiDAR 系统

基于光子计数 LiDAR 系统测距原理与传统激光测距系统相同,都是采用记录激光脉冲飞行时间(TOF)的方式进行距离测量,其不同点主要在于光子计数 LiDAR 系统回波接收装置的灵敏度较高,能实现对单光子的探测。因此,光子计数 LiDAR 系统具有以下优势。

(1) LiDAR 系统激光发射功率降低,使激光脉冲有较窄脉宽,而较窄激光脉冲意味着更高测量精度和点云密度<sup>[19]</sup>;

(2) 光子探测技术调和了系统的有效测距与激光出射功率、接收回波信号望远镜口径之间的矛盾,提高了系统的探测范围,为 LiDAR 系统在更高的机载和星载平台的应用创造了有利条件;

(3) 激光出射功率和接收回波信号望远镜口径的降低,使系统整体复杂度降低,直接降低了系统的体积和重量;在相同体积和重量的情况下,可集成更多的激光器和其他类型传感器,这对资源有限的机载和星载平台来说是十分重要的。

光子计数 LiDAR 系统性能优异,更加注重对有限资源的高效利用,其全新的设计思想具有极大的技术先进性,能为地形探测领域带来新的测量理念和数据处理方法,具有广阔应用前景。

## 6 结束语

采用 LiDAR 技术进行海岸线的测定或更新是一种很有效的方法,其是对人工实地测量法和摄影测量法的一种有效补充。本文论证了 LiDAR 技术用于我国海岸线测量的可行性和必要性,具体结论如下。

(1) LiDAR 技术其可靠性已经被国内外所验证。借鉴美国成功应用该技术的经验,并考虑到我国海岸带快速应急响应需求,将其运用于我国海岸地形测量,将极大提升我国海洋测绘技术水平;

(2) 我国海岛总数达到 1 万多个,大部分为不易登岛测量的无人基岩岛,海岸类型多为适合运用 LiDAR 技术测量的人工岸线、基岩岸线和砂质岸线,不利于测量的淤泥质岸线较少<sup>[1-2]</sup>。因此,我国非常适合运用 LiDAR 技术进行海岸线测量;

(3) 多光谱 LiDAR 系统和光子计数 LiDAR 系统的出现,可进一步节省人力和物力,为更精确高效的测定海岸线带来了契机;

(4) 运用 LiDAR 技术测量海岸带,人员与装备损失的风险低,不但能自动提取海岸线,还可以得到大比例尺海岸带 DEM、DSM 等产品,且文献[20]表明,机载 LiDAR 在测图成本上约为航空摄影测量成本的 25%~33%,以上因素使得利用 LiDAR 技术成本较低;

(5) 我国没有海岸线精确评价标准,但从点云精度分析,运用 LiDAR 技术测量海岸线,消除了人为主观因素和遥感影像提取的瞬时水边线精度不确定性的影响,得到的产品精度较高。

从技术层面分析,目前在我国海洋测绘领域开展 LiDAR 技术海岸线测量的运用还存在以下几点问题。

(1) 我国尚未建立成熟的 LiDAR 作业技术标准,表现为各种平台系统的校准方法也不尽相同,因此需要建立一套先进的、统一的、符合实际需要的作业技术标准;

(2) 虽然 LiDAR 硬件技术比较成熟,但对应的数据处理软件发展相对滞后。硬件生产商一般不从事相关软件开发或开发的软件与海洋测绘的要求相距甚远。因此,研发符合海洋测绘要求的通用点云数据处理软件是未来研究重点;

(3) 由于激光传输过程中受到大气、光照等因素的影响,导致获取的点云数据在回波强度和几何精度两方面均存在误差,因此在实现利用点云数据对地物进行精准分类之前,需对其进行回波强度校正和几何校正,相关校正模型有待进一步研究确立。

## 参考文献:

- [1] 李家彪,雷波.中国近海自然环境与资源基本状况[M].北京:海洋出版社,2015.

- [2] 张志卫, 丰爱平, 吴桑云, 等. 基于生态系统的海岛保护与利用规划理论与实践[M]. 北京: 海洋出版社, 2017.
- [3] GB 12327-1998. 海道测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [4] WHITE S A, PARRISH C E, CALDER B R, et al. LIDAR - Derived National Shoreline: Empirical and Stochastic Uncertainty Analyses[J]. *Journal of Coastal Research*, 2011(62): 62-74.
- [5] 于彩霞. 基于LiDAR数据的海岸线提取技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2015.
- [6] STOCKDON H F, HOLMAN R A. Estimation of Shoreline Position and Change Using Airborne Topographic Lidar Data[J]. *Journal of Coastal Research*, 2002, 18(3): 502-513.
- [7] ROBERTSON W, WHITMAN D, ZHANG K, et al. Mapping Shoreline Position Using Airborne Laser Altimetry[J]. *Journal of Coastal Research*, 2004, 20(3): 884-892.
- [8] MADORE B, IMAHORI G, KUM J, et al. NOAA's use of remote sensing technology and the coastal mapping program[C]// OCEANS 2018 MTS/IEEE, 2018.
- [9] 张志华. 海岸带测绘技术[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2019.
- [10] 王志勇, 张继贤, 黄国满. InSAR技术在海岛(礁)测量中的应用[J]. *测绘通报*, 2013(9): 101-104.
- [11] 申家双. 海岸带等水位线信息提取与垂直基准转换技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2011.
- [12] 赖旭东, 李咏旭, 陈佩奇, 等. 机载激光雷达技术现状及展望[J]. *地理空间信息*, 2017, 15(8): 1-4, 9.
- [13] 王果. 不同平台激光点云数据面状信息自动提取研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2014.
- [14] 余旭初, 冯伍法, 杨国鹏, 等. 高光谱影像分析与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [15] ANTONARAKIS A S, RICHARDS K S, BRASINGTON J. Object-based land cover classification using airborne LiDAR[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(6): 2988-2998.
- [16] JUAN F D, WILLIAM C, CRAIG G, et al. Capability Assessment and Performance Metrics for the Titan Multispectral Mapping Lidar[J]. *Remote Sensing*, 2016, 8(11): 936-969.
- [17] MATIKAINEN L, KARILA K, HYYPPÄ J, et al. Object-based analysis of multispectral airborne laser scanner data for land cover classification and map updating[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017, 128: 298-313.
- [18] 郑向阳. 运动条件下光子计数激光雷达数据处理技术研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016.
- [19] 张庭发. 自由运转式近红外单光子探测器及其激光测距应用研究[D]. 青岛: 山东大学, 2018.
- [20] 王志明, 李锁乐. 机载LiDAR技术支持下的荒漠地区1:10000地形图测绘与研究——以内蒙古阿拉善地区为例[J]. *测绘通报*, 2019(4): 91-95.

## Comparative Analysis of the Advantages Using LiDAR Technology for Chinese Coastline Survey

JIANG Huaigang<sup>1,2</sup>, YU Ying<sup>1</sup>, WU Yukuan<sup>3</sup>, ZHAO Baolin<sup>4</sup>, DONG Guangjun<sup>1</sup>

(1. Institute of Geospatial Information, Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China;

2. Chart Information Center, Tianjin 300450, China;

3. 32021 Troops, Beijing 100094, China; 4. 32336 Troops, Lasa 850000, China)

**Abstract:** Based on a comprehensive review of the current development of coastline measurement technology at home and abroad, this paper focuses on the advantages of LiDAR measurement compared to traditional artificial field measurement, photogrammetry and SAR/InSAR measurement in coastline measurement. The feasibility and necessity of carrying out lidar technology to measure coastline in China are further discussed, which lays a theoretical foundation for the research and development or introduction of new technology and equipment in the field of marine surveying and mapping in China.

**Key words:** photogrammetry; LiDAR; SAR/InSAR; coastline; recognition classification; photon counting