

DOI: 10.3969/j.issn.1671-3044.2017.06.007

## 海岸地形测量技术发展思考

滕惠忠<sup>1</sup>, 王克平<sup>1</sup>, 缪世伟<sup>2</sup>, 王双喜<sup>2</sup>

(1. 海军海洋测绘研究所, 天津 300061; 2. 92899 部队, 浙江 宁波 315200)

**摘要:** 海岸地形测量是海洋测绘的重要组成部分,也是作业难度最大、技术能力最薄弱的环节。深入分析了海岸地形测量技术的现状、特点和不足,研究了卫星、航空、地面等多种新的测量技术应用特点,提出了海岸地形测量应用的初步方案,为推进海岸地形测量技术体系建设,提高海洋测绘技术水平,保障日益拓展的多样化需求建言献策。

**关键词:** 海岸地形测量; 海岸线测量; 滩涂测量; 卫星遥感; 航空摄影测量; 机载 LiDAR 测量

**中图分类号:** P231      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-3044(2017)06-0025-05

### 1 引 言

海岸地形测量是海洋测绘使命任务的重要组成部分,目的是获取海岸线上下地形要素和重要方位物信息,保障海图编绘需求<sup>[1-2]</sup>。特殊的地理区域和应用需求,决定了其测量模式、标准和技术与地形图不同,成为国内外应用技术研究的热点。随着我国海洋发展战略的实施,国内基础测绘主管部门,加强了涉海测量拓展力度,多所大学新开设了海洋测绘专业,相关院所持续开展海岸地形测量技术研究。韩凌云(2002年)提出了海岸带地形测绘改进技术;翟国君、黄谟涛(2003年)总结了海洋测绘的现状与发展;滕惠忠、王瑞(2005年)分析了海岸地形测量的现状与发展;申家双(2006年)研究了海岸带海陆地图差异;申家双、翟京生(2007年)开展了海岸带地形图测量方法研究;滕惠忠、李秉秋(2003年)分析了卫星遥感技术应用;史照良(2007年)开展了LiDAR技术海岛礁、滩涂测绘研究;赖祖龙、张汉德、万幼川(2008年)总结了激光雷达在滩涂海岸地形测量中的应用;滕惠忠、辛宪会、于波(2014年)提出了海岸地形无人机测绘方案。随着新技术发展,海岸地形测量正孕育着由量变向质变的跨越式发展,因此,重新梳理海洋测绘需求和新技术能力,对推进海岸地形测量技术进步具有重要的现实意义<sup>[3-10]</sup>。

### 2 海岸地形测量技术现状

#### 2.1 海岸地形测量技术要求和主要方法

《海道测量规范》(GB 12327-1998)明确规定:

实测海岸地形时,海岸线以上向陆地测进——大于1:10000比例尺为图上1cm;小于1:10000比例尺为图上0.5cm。海岸线以上部分按国家相应比例尺地形图航空摄影测量规范执行,当有同比例尺或大比例尺最新地形资料时,可以进行修测;海岸线以下测至半潮线,与水深测量相拼接;码头地区应测完整;海岸线应进行实测;地物测量点位中误差小于图上0.4mm,高程中误差小于0.2m<sup>[12]</sup>。

根据规范要求,当前海岸地形测量主要采用数字全站仪、GPS RTK等人工实地测量模式;测量范围最大为:海岸线向陆地测进250m,向海部测至半潮线;主要要素为海岸线、航行方位物、干出滩等。至于海图上海岸线以上地形信息主要依靠收集地形图资料转绘。

#### 2.2 海岸地形测量技术特点和主要问题

依据当前海岸地形测量的技术要求和作业模式,可以得出以下特点和问题。

(1) 只适用于境内海岸带和测量人员可到达区域的测绘,对于境外乃至全球或测量人员无法到达的区域则无法施测。

(2) 海岸地形测量以海岸线以下(海部)为主,测量范围未能覆盖沿岸海图的陆部图幅,缺少同步的陆部地形数据,不便于海图编绘,可能造成同一幅海图陆部和海部资料来源不同、规格不一、现势性差异明显。

(3) 干出滩测量以半潮线为界,分别采用人工实地测量和船载声纳水深测量,然后将两种测量成果拼接。特殊的地理环境造成两种作业方式均受到

收稿日期: 2016-11-30; 修回日期: 2017-05-16

作者简介: 滕惠忠(1963-),男,吉林长春人,高级工程师,硕士,主要从事海洋测绘遥感技术应用与研究。

严重制约,无法发挥各自技术优势,使滩涂测量成为海洋测绘作业难度最大、技术能力最薄弱的环节,形成技术瓶颈。

(4) 人工实地测量作业方式劳动强度大、作业效率低、条件艰苦、环境危险。其优点是测量精度高,技术方法简单,便于实施。

(5) 1998 年颁布的《海道测量规范》立足于当时的需求、技术、装备、队伍等综合能力,缩小了海岸地形测量范围、精简了测量内容、限定了作业方法和模式。对今天而言,规范中规定的许多作业方法和设备已经过时,而更多的新技术、新方法、新设备未列其中,如无验潮水深测量、沿岸事后 RTK 测量(PPK)、机载 LiDAR 测量以及迅速发展的航空摄影测量等技术,影响了海洋测绘技术水平的提高。

(6) 目前,海岸地形测量成果主要用于国内海图编绘,保障舰船航行安全,而对海岸带开发建设、部队作战保障总有一段差距,制约了测量成果的效能发挥。另外,成果种类单一,没有生产 DEM、DOM、DLG 等标准测绘产品的能力,在数字地球、数字海洋、数字海岸带如火如荼发展的今天,略显不足。

(7) 由于海岸地形测量和海图编绘是两个相互独立的技术平台,没有形成一体化的业务体系,造成内业、外业成果转化难题,部分数字成果需要重复数字化,降低了作业效率。

(8) 新技术引进和体系建设严重滞后。2009 年曾启动海洋测绘航空摄影测量业务体系建设,建立了专业队伍,承担和完成了专项任务,受到各级机关的肯定和好评。但是后续未能持续完善体系建设,一直处于停滞状态。分析原因,主要是编制体制未落实,专业装备匮乏,没有纳入海洋测绘常规业务体系,没有持续落实任务,技术基础薄弱等。

### 2.3 海岸地形测量技术需求

根据特点分析,结合新技术的发展,对海岸地形测量技术的创新发展提出了明确要求。

(1) 特殊区域、境外乃至全球海岸地形测绘需求

以往,海岸地形测量重国内、轻国外。随着改革开放、经济全球化发展,海上贸易活动剧增,军事活动走向深蓝,舰船全球航行保障等国内需求拓展,建立全球海岸地形测绘能力势在必行,也是未来发展的必然要求。航天、航空测绘技术的快速发展,为拓展海岸地形测绘能力,保障全球海岸带测绘需求奠定了技术基础。

(2) 提高作业效率、快速更新海图的技术需求

尽管卫星定位(GNSS)、声纳测量设备、数字全站仪及数据处理技术的快速发展和应用,提高了海洋测绘技术水平,但是海洋测绘依然是最艰苦的行业之一。特别是海岸地形测量,人工实地测量的作业模式没有改变,迫切需要融合各种先进技术,扬长避短,能力互补,解决现实作业中的难题,减轻劳动强度,提高作业效率,保证海图现势性。

(3) 担负多样化专项任务的需求

越来越多的专项任务是针对全球信息获取需求的,没有航天、航空测绘能力,将无法参与其中。作为海洋测绘的使命单位,必须建立自主的、全面的测绘保障能力,健全和完善新技术应用的业务体系,引领新技术发展方向,成为多样化专项任务的主力军。

## 3 新技术能力与特点

### 3.1 新技术特点

近 20 年,以摄影测量为代表的地形图测绘技术发生了翻天覆地的变化,其主要特点有以下几个方面。

(1) 全面进入了数字时代。无论是信息获取、数据处理,还是成果应用,均以数字形式体现,形成了地理信息大数据,奠定了大数据时代的基础。

(2) 精细化测绘。由原来的 1:50 000 为主,发展到 1:10 000、1:5 000 为主,很快实现 1:2 000 或更大比例尺为主,依托三维建模技术实现数字城市、数字小区、数字大厦建设,将地理信息融入个人生活。

(3) 多种测绘手段结合。卫星、航空、地面多维空间测绘结合,宏观测绘与微观测绘相结合,有人机、无人机、机动车、单兵多种测量平台结合,正摄、倾斜、多视、视频多种测量模式相结合,光学、LiDAR、SAR 等多型数据相结合,充分发挥各种技术优势,形成优势互补。

(4) 数据获取便捷化。遥感影像数据更加丰富,种类更多、精度更高、质量更好;航摄作业更加便捷,手段更多、效率更高、门槛更低。数据源保障已不是主要问题。

(5) 测用并举,强化应用。由单一的测绘服务,转向地理国情、数字城市、智能决策等建设和服务,不断开拓和深化应用领域,提升测绘的基础地位和作用。

### 3.2 新技术能力分析

结合海岸地形测绘的技术需求,重点研究卫星遥感、航空摄影测量、机载 LiDAR 测量、无人机测绘、地面三维激光测量、基于 GPS 的 RTK 和 PPK 测量等技术的特点和能力。

### (1) 卫星摄影测量技术

国外极其重视测绘卫星的发展,从20世纪70年代开始,在全球范围内大力推广测绘卫星的应用,其发展经历了3个典型阶段:定性测绘,美国LandSat TM系列卫星;定量测绘,法国Spot系列卫星;高精度测图,美国Ikonos、GeoEye、WorldView等系列卫星。目前,商业测图卫星影像分辨率已达0.5m,满足1:10000比例尺测图和1:5000比例尺修测的指标要求。

我国“天绘”、“资源三号”系列测绘卫星立体影像分辨率为5m,单片影像2m,可以测绘1:50000比例尺地形图,修测1:25000地形图。“高分”系列卫星影像分辨率已达0.8m,可以修测1:10000比例尺地形图。

卫星摄影测量技术在全世界得到了普遍应用,美国和法国已完成全球80%以上陆地地形测绘。其最大特点是可以填补测图空白区域,实现全球测绘,军事应用地位和作用突出。特别是西方军事大国,将其纳入战争准备、信息保障、情报获取等必备的主要技术手段。目前卫星摄影测量的主要问题是测图比例尺偏小,特别是高程测量精度偏低,最高只能达到米级,与海洋测绘要求的0.2m有差距。

### (2) 航空摄影测量技术

随着数字航摄仪、POS定位定姿系统以及数据处理技术的发展,航空摄影测量进入了数字化、通用化、精细化发展阶段<sup>[3]</sup>。过去,国内只有两三家具备航空摄影作业能力的单位,短短20年的发展,已有近百家航空摄影专业单位和公司,而且业务化、模块化、商业化程度高,形成了人人参与的局面。目前航空摄影测量实现了1:500~1:50000比例尺系列测图能力,适用于海岸带、海岛礁地形图测绘。存在的问题是专业测量设备比较昂贵,主要靠国外引进,国内相关设备发展很快,已有系列产品,逐步缩小了差距;对滩涂、沙漠、林区等特殊区域测绘能力较弱,高程测量精度偏低,无法直接满足《海道测量规范》要求。

### (3) 机载LiDAR测量技术

机载LiDAR测量技术完全不同于摄影测量对地定位理论,是真正意义上的目标定位测量。通过GPS定位、INS测姿和SLR测距,直接获取目标三维信息,其高程测量精度可达0.15m<sup>[15]</sup>,满足《海道测量规范》要求。除了定位精度高,点云数据密度高,数据处理自动化程度高,适合生产大比例尺DEM和精细地貌产品以外,机载LiDAR测量无需地面控制点,受天气、太阳高度角和阴影的影响小,大大减小

了外业测量强度。特别是对滩涂、沙漠、矿区等地面景物纹理贫乏区域,以及地面工作极度困难的无人区、地面控制点严重缺乏区、远离大陆的岛礁等,机载LiDAR具有特殊地位和作用。机载LiDAR测量技术正向小型化、与影像自动匹配、地物目标智能分类等前沿方向发展。

### (4) 无人机测绘技术

无人机测绘系统主要由无人机平台、数码相机、GPS飞控系统和数据存储设备组成,对设备指标要求较低,技术门槛较低,但其机动灵活、操作简便,作业成本较低,可以测绘1:2000~1:10000比例尺地形图,特别适合于小范围、困难区域、应急保障测绘任务。其装备简单、自主化程度高,应用普遍。但其数据后处理任务重,测图效率低,高程测量精度不稳定<sup>[5]</sup>。

### (5) 地面三维激光测量技术

地面三维激光测量技术包括汽车、自行车、人以及气垫船、沙滩摩托等多种载体和作业方式,作业效率取决于测量平台的机动性能,测量范围为30~1000m带宽,测量精度:平面10cm、高程20cm,满足规范要求,可以担负海岸线、航行方位物、滩涂等地物目标测绘。作业方式灵活,适合于各种特殊环境和场所,广泛用于数字城市、数字街区、三维建模领域。这一技术应用于海岸地形测量具有广阔的前景。

### (6) GPS RTK和GPS PPK技术

依托GPS的RTK和PPK技术已经融入海洋测绘业务体系,成为海岸地形测量的常规技术,其测量精度高,操作简单、便捷实用,满足《海道测量规范》要求。主要问题是作业效率偏低、劳动强度大、特殊区域无法作业。

综上所述,卫星、航空、地面等多种测量技术各有特点和不足,核心问题是高程测量精度难以保证,需要相互融合、支撑,如航空摄影测量包含的像控测量和外业调绘技术环节,就采用了常规测量技术或GPS RTK技术,获取必要的测图信息。

## 4 海岸地形测量初步设计

### 4.1 海岸地形测量技术发展思考

(1) 瞄准海军作战需求,解放思想,创新技术,丰富产品,建立新型的测绘保障体系和能力。不能局限于境内测量、单一海图产品和一成不变的业务体系。

(2) 国内精细测量,境外遥感测量,重点区域快速测图。国内测量严格执行《海道测量规范》标准;

国外遥感测量应考虑当前技术能力,适当放宽标准,首先解决地理信息有和无的问题。卫星遥感是境外测图最有效的技术手段,而且未来需求明确,发展趋势必然,所以必须培养自主的生产队伍。卫星摄影测量技术能力的培植是一个规范、复杂、长期的过程,不可能一蹴而就,需要尽早启动,坚持不懈。针对重点区域,应持续关注、积累资料,保证快速、应急测绘需求。

(3) 拓展海岸地形测量范围,保证海图全覆盖、全要素测绘,提高海图现势性。采用常规测量方式无法实现海图全覆盖、全要素测绘要求,但是采用航空摄影测量技术可以轻而易举解决。

(4) 国内海岸地形测量以修测为主,补测为辅。目前,全国沿海省市均实行了常态化的大比例尺地形图更新机制。依托最新的航测数据,以地形图和海图修测技术为主要手段,结合以常规测量技术为基础的外业调绘,可以经济、高效地更新海图中海岸地形数据。

(5) 多技术结合应用。海岸地形测量是一个复杂的工程,过去由于技术能力限制,缩减了测量工作量,限定了测量模式。随着新技术的发展,应用能力的提高,多技术结合,取长补短,优势互补,开拓海岸地形测量新模式的条件日趋成熟。对新技术应该大力引进、参与其中、顺势发展。

(6) 制作海岸带专题图产品。关于海岸带地形图及其标准,即海图和地形图的拼接、转换、融合、统一等工作,国内开展了十几年的研究,目前依然没有明确的结果。从技术上讲,近些年陆地地形测量技术飞速发展,使地形测量更加便捷化;而海部测量技术变化不大,依然是体量大、专业性强、介入门槛高,所以由海洋测绘拓展,构建海岸带地形图业务体系更现实。从需求上讲,由海上向陆地推进的需求更迫切,指标要求更高,所以依托海图制定海岸带地形图标准更科学。应该打破地形图的垄断地位,突破守成的思想观念,积极拓展海洋测绘主导空间。

(7) 技术创新是一个复杂、持续的过程,需要决心和耐心。采用新技术开展海岸地形测量,必然会带来一系列新问题,如内业测图流程、影像判绘经验、外业调绘要求、数据转换标准、融合与拼接方法、成果精度和形式等一系列技术问题,这些问题是新技术融入海洋测绘业务体系的基础和必然,短时间内会给常规业务工作带来一定压力,需要在实践中持续解决。

#### 4.2 海岸地形测量技术设计

(1) 境外及特殊区域海岸地形测量以卫星摄影

测量技术为主

依据境外测绘需求和卫星遥感技术能力制定相应的作业标准,构建卫星数据获取渠道,建设专业的作业队伍。

(2) 境内滩涂测量以机载 LiDAR 测量技术为主,以常规测量技术为辅

以半潮线为界,分别采用机载 LiDAR 测量技术和船载声纳测量技术,实施滩涂 DEM 测量和沿岸水深测量,然后将两种测量成果拼接。根据作业规范,机载 LiDAR 高程测量精度为 0.15m,满足海道测量规范要求。同时采用常规测量技术进行外业调绘,获取滩涂精细分类等信息。

针对水质清澈的近岸海域,采用机载双频 LiDAR 测量(测深、测地形)技术,解决大陆沿岸和海岛礁周边海域水深浅、水上水下地形复杂、大型测量船难以到达的实际困难,实现海岸地形与水深测量的无缝拼接,具有效率高、全覆盖、水陆一体化测绘等特点。

(3) 境内海岸线测量采用地形图修测和地面激光扫描测量技术

地方测绘部门每年组织大比例尺地形图复测和修测,奠定了海岸线修测的基础。基于正射影像图,对海岸线要素进行影像判绘和修测,采用地面激光扫描测量获取精确的高程数据,特殊区域辅以外业调绘,最后编绘海岸线测量成果。

(4) 大范围海岸地形测量采用摄影测量、机载 LiDAR、地形图修测等多种技术

针对无图区域可以采用通用航空摄影测量或无人机测绘技术,针对已有大比例尺地形图和最新的航摄数据的区域,采用地形图修测技术,结合外业调绘,获取海岸地形要素信息;同时利用机载 LiDAR 数据,检核和修测海岸地形高程信息,辅助完成海岸地形测量任务。另外,应用常规海岸地形测量技术和地面激光扫描测量技术,现场实时补充采集地形数据,检核典型海岸地形测量成果。

(5) 局部和应急海岸地形测量以无人机测绘技术为主

发挥无人机测绘系统机动、灵活、便捷的特点,快速获取特定区域的地形信息及其变化信息,支持海图修测、专题图制作。

(6) 海洋测绘外业调绘技术拓展

外业调绘是遥感测量的一个重要技术环节,目的是检核内业测图成果,调绘地形要素属性,补测变化地物目标等。海道测量规范对重点区域、特定要素、部分指标等有更高的测量要求,这些内容主要通过外业调绘方法解决,因此,海洋测绘对外业调绘赋

予了新的内容和要求,其工作量和作业方式都需要重新设计。主要技术考虑:基于内业测图成果,采用常规海岸地形测量方式,开展现场比对、核实,对重点目标和要素进行实地测量,以此保证测量成果质量满足规范要求。

## 5 结束语

从国内外地形图测绘模式的转变和 927 国家海岛礁测绘专项成果<sup>[11]</sup>,可以看出应用遥感技术测绘海岸地形成熟、可靠、高效,代表了技术发展方向。通过分析、思考可以得出如下结论。

(1) 海洋测绘加强卫星摄影测量技术体系建设是使命任务的必然要求。

(2) 目前摄影测量技术存在的主要问题是高程测量精度偏低,海岸线、滩涂精细分类困难等问题,采用其他相关技术可以解决。

(3) 单纯的遥感与摄影测量技术难以满足规范要求,需要多种技术结合,引入新技术不是替代常规作业方法,而是互补和加强。

(4) 海岸地形测量新技术应用滞后,主要原因是对新技术认识不足和守成思想重。

(5) 海岸地形测量引入卫星、航空和激光扫描测量技术可以获取更大范围的测量数据,大大减轻劳动强度,提高作业效率,丰富产品形式,代表了技术发展方向。

## 参考文献:

[1] 宁津生,陈俊勇,李德仁,等.测绘学概论[M].武汉:

武汉大学出版社,2008.

[2] 王树根.摄影测量原理与应用[M].武汉:武汉大学出版社,2009.

[3] 滕惠忠,王瑞,翟京生,等.海岸地形测量的现状与发展[C]//延吉:第十七届海洋测绘综合性学术研讨会论文集,2007.

[4] 申家双,翟京生,翟国君,等.海岸带地形图及其测量方法研究[J].测绘通报,2007(8):29-32.

[5] 滕惠忠,辛宪会,于波,等.海岸地形无人机测绘系统选型分析[J].海洋测绘,2014,34(3):20-24.

[6] 王海云,余如松,缪世伟.航空摄影测量技术在海岛礁测绘中的应用[J].海洋测绘,2011,31(2):45-47.

[7] 卢汉明,高德俊,李志勇.IMU/DGPS 在海洋独立岛屿测量中的应用分析[J].海洋测绘,2012,32(5):66-69.

[8] 陈文哲,滕惠忠,林扬正.航空摄影测量在海岸地形测绘中的精度分析[C]//银川:第二十六届海洋测绘综合性学术研讨会,2014.

[9] 万幼川,刘良明,张勇军.我国摄影测量与遥感发展探讨[J].测绘通报,2007(1):1-4.

[10] 李磊,王盼成.数字海岸实现的技术体系及应用方向[J].海洋开发与管理,2002(6):62-65.

[11] 党亚民,程鹏飞,章传银,等.海岛礁测绘技术与方法[M].北京:测绘出版社,2012.

[12] GB 12327-1998.海道测量规范[S].北京:中国标准出版社,1999:54-63.

[13] GB/T 13990-92.1:5000,1:10000 地形图航空摄影测量内业规范[S].北京:中国标准出版社,1992.

[14] 杨晓梅,周成虎,杜云艳,等.海岸带遥感综合技术与实例研究[M].北京:海洋出版社,2005.

[15] 尤建红.激光三维遥感数据处理及建筑物重建[M].北京:测绘出版社,2006.

## The Development of Coastal Topographic Survey

TENG Huizhong<sup>1</sup>, WANG Keping<sup>1</sup>, MIAO Shiwei<sup>2</sup>, WANG Shuangxi<sup>2</sup>

(1. Naval Institute of Hydrographic Surveying and Charting, Tianjin 300061, China;  
2. 92899 Troops, Ningbo 315200, China)

Abstract: Coastal topographic survey is an important part of marine charting. The fact is that it's hard to survey and mapping and lack of usable survey method. The present situation, the characters, and the defects of coastal topographic survey technology have been analyzed. Some new platform technologies such as satellite, aerial and ground platform were researched. And a preliminary scheme was put forward. The contribution was that some suggests were offered for promoting the coastal topographic survey technology system construction, improving the level of hydrographic technology and satisfying different kinds of needs in time.

Key words: coastal topographic survey; coastline survey; tidal flat survey; satellite remote sensing; aerial photogrammetry; airborne LiDAR survey