

# 海岸地形航空摄影测量技术方案的确定

申家双<sup>1</sup> 潘时祥<sup>2</sup>

(1. 海军海洋测绘研究所,天津 300061; 2. 解放军信息工程大学测绘学院,河南郑州 450052)

**【摘要】** 就海岸地形应用航空摄影方法实现的技术方案进行了探讨,介绍了航空摄影测量中遥感器的选择以及海岸带航空摄影的特点与要求,并给出在当前技术条件下海岸地形航空摄影测量的最佳实施方案。

**【关键词】** 海岸地形测量 航空摄影测量 遥感器

## 1 引 言

20 世纪 80 年代以来,随着计算机技术和空间科学的快速发展,对陆地与海洋测绘的研究也步入了一个崭新的发展时期。海岸地形航空摄影测量就是在这种新形势下,随着遥感遥测技术和海洋测绘技术的应用而发展的新技术。它利用了对地航空遥感摄影测量成熟的原理和技术,有机地结合海道测量的水位控制方法和潮汐改正原理,改进了传统海岸地形的测量方法。航空遥感对于海岸带观测与对地观测一样,其遥感器类型的选取和飞行要求则根据测量对象和具体情况来确定。根据海岸地形测量的重点内容和特点,在当前技术和经济条件下,选择航空摄影机,在海水面处于低潮的时刻,沿海岸线方向飞行摄影为最佳实施方案。

## 2 航空摄影遥感器的选择

可用于摄影测量的航空遥感图像类型很多,就对地观测接收材料或器件的类型划分,主要有以感光胶片作为探测材料的摄影像片,以光敏元器件 CCD 为探测器件的数字摄影图像,以及以天线为接收装置的合成孔径雷达图像。在目前技术装备条件下,机载数字摄影图像与雷达摄影图像用于大比例测图还不成熟,采用感光胶片航空摄影对大规模海岸地形测量最为经济和有效。

### 2.1 航空数字摄影技术用于大规模大比例尺地形图测制还有待进一步发展

航空数字摄影根据 CCD 组成的阵列区分,主要有线阵和面阵两种形式。三线阵和单线阵航天数字摄影(扫描)机对地观测取得的立体或单片图像已用于地形图测制与修测,如 SPOT-4 卫星的数字摄影

机(HRVIR)全色波段(像元地面分辨率 10m)用于比测尺小于 1:50000 地形图的修测;MOMS-02 同轨道三线阵立体图像为航天数字摄影立体成像和测图积累了很好的经验;IKONOS 卫星的数字摄影机,既可以异轨立体成像,也可以同轨立体成像,在有地面控制点的条件下利用其定位,平面和高程精度可分别达到 2m、3m。但是,高分辨率航天数字摄影图像的成本很高,还不适合国内大面积海岸地形测量。

三线阵和单线阵航空数字摄影,可以取得地面分辨率很高的图像。然而在航空高度数字摄影机的姿态受大气影响较大,没有象航天高度那样稳定,线阵摄影图像获取受其姿态瞬时变化的影响,会引起较大的变形,摄影测量定位精度不高,达不到地形测量的精度要求。Leica ADS 40 三线阵 CCD 航空数字摄影机,每个线阵由  $2 \times 12000$  像元组成,像元尺寸为  $6.5\mu\text{m} \times 6.5\mu\text{m}$ 。摄影机设置在 PAV30 陀螺稳定平台上,并附有高精度的 IMV 姿态传感器和 GPS 定位系统。据称 ADS 40 线阵推扫图像可以满足大比例尺地形图测图精度的要求,可是 IMV 姿态传感器价格昂贵,且该产品不易购置。我国自行研制生产的线阵航空数字摄影机用于摄影测量实践还不现实,其有待于高精度摄影姿态记录系统的成功研制。

面阵 CCD 数字摄影图像为中心投影,整幅图像同时曝光摄取,对摄影姿态变化速率的限制较低,没有像 CCD 线阵行中心投影摄取对姿态要求那样高。航空面阵数字摄影图像可以用于摄影测量。但是,现有面阵数字摄影仪的幅面较小,一般为  $4\text{K} \times 4\text{K}$  个像元。当像元尺寸大小为  $6.5\mu\text{m} \times 6.5\mu\text{m}$  时,则像幅为  $2.6\text{cm} \times 2.6\text{cm}$ ,即使四个面阵相拼接组成一帧图像,像幅也只有  $5.2\text{cm} \times 5.2\text{cm}$ ,比胶片摄影机  $23\text{cm} \times 23\text{cm}$  像幅相差 4 倍多。 $6.5\mu\text{m}$  像元大小的

数字摄影图像,影像分辨率是比较高的,但并不比胶片分辨率高。胶片的分辨率一般都高于 100lp/mm (线对/毫米),相当于像元尺寸为 5 $\mu$ m。对于装备有前移补偿、陀螺平台和高分辨率胶片的 RC 系列摄影机,摄取像片的影像综合分辨率也可达到 60 lp/mm,相当于 8 $\mu$ m 像元大小。对于大面积覆盖摄影,为取得相同比例尺的图像,利用面阵数字摄影机的飞行成本要比胶片摄影的飞行成本高几倍,而且因像幅小会增加摄影测量内外业处理的工作量。因此,在当前经济技术条件下,大面积地形测量采用面阵数字摄影是不经济的。

## 2.2 机载合成孔径雷达全面用于海岸地形测量还有待分辨率的提高

合成孔径雷达(SAR)是主动式遥感器,工作在微波波段,对大气有较强的穿透能力。机载合成孔径雷达获取地面图像有全天时和全天候的特点,而且合成孔径雷达是侧视成像,不到敌方上空而在其一侧就可以获得敌方地面情报。同此,合成孔径雷达多用于军事侦察和资源调查。

雷达图像的影像色调与地物表面的粗糙度、复介电常数、形状和雷达波长、极化方式、侧视角有关。在相同雷达参数的情况下,主要取决于地物表面的粗糙度。雷达图像的色调特征与可见光图像不同。另外,雷达图像为斜距投影,图像的几何变形不同于中心投影像片。

合成孔径雷达图像在地形测量中应用与其他遥感图像相比较,对于海岸地形要素的区分比较有利。不同性质的干出滩,组成物质的颗粒大小不同,即粗糙度不同,在雷达图像上的色调和纹理不同,影像特征差异明显。海蚀坎部对于微波反射为角反射器,有较强的雷达回波,在雷达图像上为浅色调线状影像。以海蚀坎部为岸线的海岸线,在雷达图像上与其相邻的岸和干出滩有较大的反差。平静的水面对于微波的反射为镜面反射,在雷达图像上海水的摄影水面、海边养殖鱼虾的池塘、潮水沟和流经干出滩入海河流为黑色的影像,与相邻的干出滩或岸也有较大的反差,影色特征明显,很容易识别。利用星载合成孔径雷达图像的影像特征与海底地貌的关系可以反演海底地形,只有极少的试验说明,尚未见实际应用的例子。

合成孔径雷达图像的实际灰度等级一般都小于 256 级(8 bit),影像层次少,对于主要以色调为判读特征的地物,判读效果低于相同比例尺的可见光图像。目前民用机载合成孔径雷达图像的分辨率还不高,平面测量精度达不到大比例尺地形图测图精度

的要求。另外,合成孔径雷达图像立体测量受立体观测效果与基高比大小的相互制约,高程测量精度低。20 世纪 90 年代发展到实用阶段的合成孔径雷达干涉测量(Interferometric Synthetic Aperture Radar)技术,简称雷达干涉测量(INSAR),可以获得较高精度的地面三维信息。但是,中国的机载双天线合成孔径干涉雷达正在研制中,用于生成地面数字高程模型尚有一段时间。

## 2.3 胶片航空摄影用于海岸大范围地形测量是当前最经济的方案

胶片航空摄影与数字摄影和合成孔径雷达成像相比,技术成熟。航空摄影像片是传统摄影测量的基本资料,也是当前大比例尺地形测量的主要资料来源,用于海岸地形测量的主要优越性表现在以下几个方面:

(1) 航空摄影像片为中心投影,同一张像片上像点之间几何关系受摄影外方位元素变化影响小,可以用严密解析式表达,也便于使用成熟的摄影测量理论和方法处理。

(2) 航空摄影影像分辨率高。航空摄影机镜头和感光胶片的分辨率很高,航空摄影像片的影像分辨率一般在 30 lp/mm 左右,高的可达 60 lp/mm(相当于像元大小为 8 $\mu$ m)。摄影像片影像层次丰富,信息量大,影像色调差异与对应目标明暗亮度差基本一致,目视判读方便。

(3) 航空摄影机像幅大。目前,使用的航空摄影测量像机的像幅大多为 23cm $\times$ 23cm,像片比例尺为 1:25000 的一幅像片可以覆盖地面 5.75km $\times$ 5.75km 的范围,对于海岸 1:25000 地形测量,在很多地段,一条航线就可能覆盖海岸带图所要求的测量范围。

(4) 海岸带航空摄影实施方便灵活。航空摄影取得的是硬拷贝影像,主要不足是数据不能实时传输,不能直接进入计算机处理。为了对航摄的影像资料进行数字化处理,必须利用专用的摄影测量扫描仪将摄影像片(影像)扫描转换成数字形式。在当前技术条件下,以 10 $\mu$ m~15 $\mu$ m 像元分辨率来扫描一幅 23cm $\times$ 23cm 黑白像片的影像,一般只需要 5~20 分钟。因此对相同面积相同比例尺的区域的航空摄影测量,采用传统的航空摄影加上像片数字化费用的成本比整套的数字摄影测量系统的成本低得多。

## 3 海岸带航空摄影测量的要求

### 3.1 航线布设方法

陆地摄影测量航线,一般按一定数量的图幅范围,平行于图廓线沿东西或南北方向布设。海岸地

形测量的范围是海岸带图测制规范所定义的海岸线以下的干出滩、近海岛礁和海岸线以上狭长地带。海岸带测图的航线,一般应按海岸线的总体走向以折线形式布设。航线段的长短和数量根据海岸线的形状及海岸带的宽窄确定。航线段设计的基本原则是:在覆盖海岸带立体测图范围的前提下,航线应尽量长,航线数应尽量少。因此,海岸带测图航线的设计比陆地测量要复杂。

3.2 航摄比例尺的选择

航摄像片的比例尺主要根据为保证测图精度和地图内容在像片上的可判读性所要求的像片地面分辨率确定。摄影像片的地面分辨率与成图精度和目标判读的概率有如下关系:

$$\begin{aligned} m_x &= m_y = R/2 \\ m_z &= (H/B)(R/\sqrt{2}) \\ &= \exp[-(CR/L)^2] \end{aligned}$$

式中:

- $m_x$ 、 $m_y$  为平面测量精度;
- $m_z$  为高程测量精度;
- $R$  为像片的地面分辨率,即影像分辨率的一个线对所对应的地面宽度;
- $H/B$  为摄影像对的相对航高与基线的比值;
- $L$  为简单目标的几何尺寸;
- $C$  为对简单目标的识别系数,长方形房屋的识别系数是 1.5;
- 为目标判读的概率。

例如,1:25000 比例尺地形图航测内业加密控制点,在平坦地的平面、高程测量精度要求分别为 8.75m、1.0m( $B/H=1$ ),则要求摄影像片的地面分辨率应分别高于 17.5m、1.4m。理论和实践证明,1:10000、1:25000 比例尺地形图测制,当摄影像片的地面分辨率能满足成图高程测量精度要求时,则肯定能保证平面测量精度要求,一般也能满足大部分地形要素室内判绘的要求。

测图比例尺大小不同,所要求目标的定位精度和地形图内容表示的详细程度及图像判绘的概率不同。因此,航摄比例尺主要由测图比例确定,确定的基本原则是:在保证成图平面、高程测量精度和室内判绘要求的前提下,尽量减小摄影比例尺,以降低摄影成本。

海岸带地形测量中,对海岸线、干出滩、助航标志及港口的其他建筑物的表示要求较高,摄影比例尺的确定主要从不同比例尺成图图像判绘要求考虑,一般应符合表 1 的规定。

表 1 海岸带地形测量航空摄影比例尺

海岸带图成图比例尺	航摄比例尺
1:10000	1:8000 ~ 1:12000
1:25000	1:20000 ~ 1:30000
1:50000	1:30000 ~ 1:50000

表 1 中规定的摄影比例尺比摄影规范要求的要大,其原因主要是:一方面考虑到海岸地形测量对干出滩和礁石高程测量精度要求高;另一方面,海岸带图像判绘采用野外像片调绘着铅与数字判绘编辑相结合的方法,要求像片比例尺与成图比例尺相当,一般不小于成图比例尺的 20%。比例尺过小,野外像片调绘着铅(或着墨)不能正确处理相邻地物间的相互关系,需要采用放大像片作业。

3.3 摄影时间的选择

(1) 海岸带地形测量航空摄影时间应尽量选择 在低潮时刻。干出滩是海岸带图上应表示的重要内容之一。航空摄影测量时应尽量在低潮时向干出滩以下摄影与测量,水深测量时应尽量在高潮时向干出滩以上测量。只有这样,对干出滩的测量才不至于遗漏,并有一定范围的重复测量地段,以利于航测资料与水深测量资料在编绘时拼接。为保证大部分干出滩在干出的状态下进行立体测量,海岸带航空摄影应选择在海水水涯线在半潮线(平均海面)以下时刻摄影。如果在高潮时摄影,在航摄像片上大部分干出滩被海水淹没,无法用摄影测量的方法测定,则用航测的方法测量海岸地形就没有意义。

中国大部分海区为半日潮和不规则半日潮,在一天 24 小时内,海水在半潮线以下的时间只有 12 小时。另外,对于突出岸线范围较大的干出滩要求布设控制点地标,还存在地标设置与航空摄影协调的问题。因此,海岸带图测量航空摄影的时间比陆地摄影时间要少一半。沿海地区恰当的摄影季节有限,适宜摄影的天气又少,研究云下摄影和提高摄影时间内的航摄效率也是非常重要的。

(2) 航空摄影时间与图像判绘作业时间的间隔不宜长于 1 年。沿海地区一般都是经济发达地区,地物年变率较大。据统计,在经济发达地区,1:50000 比例尺地形图的地形要素年变率为 5%;1:10000 比例尺图上大于 5%。为了保证图像判绘过程中因摄影后的地形变化而需要野外补绘的地形要素不超过 10%,一般要求航空摄影时间与判绘作业时间的间隔不长于 1 年。

(下转第 34 页)

(动态测量,卫星已锁定),当出现 RTK= Floated 时,表明卫星已失锁,需重新进行初始化。

现在,按界面上的提示就可以进行动态测量了。

5 GPS 实时动态测量(RTK)测点精度检核

在外业测量过程中,有关作业人员每天都利用测区内经过整体平差的高级控制点对动态测量精度进行检核,检核结果见表 1。

由检核结果得出,动态测点平面位置中误差为 ±3.09cm,高程中误差为 ±3.98cm,精度是相当高的,可以说在数秒内就可达到厘米级的测点精度。实践证明,动态测量平面精度优于高程精度,测点精度随着流动站远离基准站而衰减,尤其是高程精度衰减量又有一定的规律性,即基本上均为负值,随距离呈线性衰减。估计坐标转换时使用七参数并利用高精度的七参数值进行坐标转换可提高测点精度。

表 1 GPS 实时动态测量(RTK)测点精度检核表						
施测日期	基 准 站	检 核 点	距 离 (km)	不符值(cm)		
				X	Y	H
2000. 12. 12	太平寨	1	2.09	- 0.6	3.1	- 2.6
		故环 - 8	0.87	1.1	- 1.4	- 1.0
2000. 12. 13	太平寨	1	2.09	2.8	1.6	- 3.3
		故环 - 8	0.87	1.0	- 1.2	- 1.2
2000. 12. 14	故环 - 8	1	1.63	- 2.6	1.9	- 3.3
		3	3.73	4.2	- 1.5	- 6.3
2000. 12. 15	3	故环 - 6	0.11	- 0.1	0.3	+0.3
		4	3.06	2.1	- 3.6	- 4.7
2000. 12. 16	3	5	5.09	- 3.6	- 2.3	- 8.2
2000. 12. 17	5	F1	1.77	2.0	1.8	- 2.2
2000. 12. 18	6	C17	0.98	1.6	1.8	- 3.0

6 结束语

故县水库水下地形测量 1 10000 测图面积 20km<sup>2</sup>,作业人员仅用 7 天时间就完成了全部外业测量,施测

水下地形点 5000 余个,为整个项目的顺利完成赢得了宝贵的时间,取得了良好的社会效益及经济效益。GPS 动态测量是测绘科技上的一次重大飞跃,它大大减轻了测量外业强度,提高了地形测点的精度。

参 考 文 献

1 刘基余,李征航,王跃虎,等. 全球定位系统原理及应用[M]. 北京:测绘出版社,1993

(上接第 31 页)

3.4 航空摄影像机的选择

海岸带图高程测量精度要求较高,因此采用的航摄像机除要求有框标和精确的内方位元素数据外,最好选择带有前移补偿装置、短焦距、高分辨率的框幅式测量航摄机。选择短焦距,可以在摄取相同比例尺像片时相对航高较小,以增大基高比,提高高程测量精度。

沿海岸地区摄影时间比陆地要少,气象条件不稳定,1 10000 成图摄影比例尺大,有时只能在云下摄影,摄影曝光时间较长,曝光时间内影像前移较

大,利用前移补偿装置有利于保证影像的高分辨率。

4 结束语

本文对海岸地形利用航空摄影测量的方法进行了研究,并通过部分测量实践取得了比较满意的结果。尽管利用航空摄影测量的技术和方法进行海岸地形测绘刚刚开始,但是作为海岸地形测量的一种补充手段,对于提高测量的效率和海图的现势性、实现地形图与海图的统一、减轻劳动强度具有十分重要的意义,而且具有广泛的应用前景。

参 考 文 献

1 潘时祥. 像片判绘[M]. 北京:解放军出版社,1990  
2 张永生. 数字摄影测量[M]. 北京:解放军出版社,1997