

基于潮汐模型和 DEM 的海岸线提取方法研究

董玉磊¹, 王荣林¹, 吕立蕾¹, 许军²

(1. 天津海事测绘中心, 天津 300222; 2. 海军大连舰艇学院, 大连 116018)

摘要:近年来随着卫星遥感和无人机测量等技术的飞速发展,通过遥感影像提取海岸线替代人工实地测量逐步得到了应用,目前遥感影像判绘主要是根据影像上海岸线的痕迹,或直接用水涯线代替,提取方式、提取结果存在一些不足。文章提出了一种基于潮汐模型和 DEM 的海岸线提取方法,通过无人机航摄影像构建海岸带 DEM,利用潮汐模型计算海岸线高、水涯线高及其差值,在 DEM 中提取水涯线高程并根据潮汐模型计算的差值反算出海岸线高,进而在 DEM 模型利用反算的海岸线高快速、准确地确定出海岸线位置。最后通过实测数据验证了这种提取方法效率较高、精度较为均匀,尤其适用于海岛礁、陡崖险滩等人工测量困难的区域。

关键词:海岸线提取; 平均大潮高潮面; 潮汐模型; DEM 模型; 水涯线; 无人机

中图分类号: U 652; P 229

文献标识码: A

文章编号: 1005-8443(2019)04-0479-05

海岸线测量是海道测量、地图测绘、海岸带调查、海岸和海域管理的重要内容,也是重要的基础地理数据。对于地理概念的海岸线,在地形图、海图测绘中均有涉及和规定^[1]。《海道测量规范》^[2]和《中国海图图式》^[3]中定义“海岸线是指多年平均大潮高潮时水陆分界的痕迹线”,其位置主要是由潮汐作用所决定,同时也受到波浪、海岸坡度、岸滩物质等因素的影响,是近似于相应的某一潮高面与岸滩相交的线^[4]。规范要求海岸线应实测,但传统的人工测量存在很多弊端,主要表现为测量困难甚至部分区域测量存在危险,测量效率低下,不同的测量人员对同一段海岸线的位置判断不一致、存在测量结果存在因人而异的情况。随着遥感技术的发展,其高分辨率、高定位精度的优势凸显,为海岸线测量提供了新的技术手段。林桂兰^[5]探讨了利用遥感影像自动提取海岸线的技术方法,分析了目前海岸线自动提取方法的可行性和局限性。刘善伟等^[6]研究了应用高分辨率卫星遥感影像和 DEM 数据提取海岸线的技术方法,通过试验证明了可行性,但有些图像识别困难地区需要处理人员具备较为丰富的经验进行判断。于彩霞等^[7]阐述了遥感影像提取海岸线的实现过程、关键技术,分析了存在的局限性。本文提出了基于潮汐模型与精细 DEM 模型提取海岸线的方法,用无人机航拍的海岸带影像建立精细 DEM 模型,利用记录的时间信息和位置信息在潮汐模型中计算出海岸线高和各个拍摄时刻的水涯线高,通过反算海岸线的高度值在精细 DEM 中确定出海岸线的位置。

1 海岸线提取技术路线

人们通常认为,海岸线是海陆分界线。更确切地说,它是海平面与陆地的交界线。但是,由于潮汐运动、风浪等影响,海水一直处于动荡不定的状态中,海水并不处在一个固定的平面位置上,而是不断升降着。这种变化,又随着不同地区、不同潮汐性质和不同海岸地形而有明显的差别^[8]。假定摄影时刻在一定范围内,水涯线不受潮位影响,水涯线的位置可以认为是干出滩上高程一致点连接而成的等高线(也称等水位线)。在上述假设条件下,可以在无人机航摄生成的数字高程模型(DEM)中提取出一系列摄影时刻水涯线的位置和高程值;通过潮汐模型可以推算出水涯线的高及其该海岸线高。根据潮汐模型计算的水涯线与

收稿日期: 2018-03-07; 修回日期: 2018-09-19

作者简介: 董玉磊(1982-)男,山东临沂人,高级工程师,主要从事海道测量技术应用与质量管理工作。

Biography: DONG Yu-lei(1982-) male senior engineer.

海岸线的高差,加上在 DEM 中分段获取出水涯线的高程值,进而在 DEM 中根据计算出来的海岸线高程值分段提取海岸线,再根据影像对提取的各段海岸线进行整理,最终生成完整的海岸线。技术流程如图 1 所示。

1.1 潮汐模型构建

潮汐模型^[9-12]构建先以海图水深数据为基础、关键浅水区的实测水深成果数据为辅,构建中国近海水深格网,基于 POM 模式、采用 blending 同化法同化了计算域内的 T/P 与 Jason-1 卫星测高沿迹的潮汐参数、130 处中期验潮站与 106 处长期验潮站成果,分别构建初步模型、中间模型与最终模型,该模型的空间分辨率为 1' × 1',包含 13 个主要分潮。

应用潮汐模型进行潮位推算时需以附近长期验潮站为基准站,通过实测的长期验潮站潮位数据对潮汐模型的预报潮位进行订正,该模式与实测数据对比有较好的符合性,已广泛应用于海道测量的工作中。

1.2 水涯线高计算

据研究潮位由天文潮位和余水位两部分构成,其中天文潮位由日月引力和地球自转引起,具有极强的规律性和可预报性;余水位由短时间气象因素(主要是风)和海平面季节性变化引起,具有较强的时间连续性和区域相关性^[13]。

$$\zeta_A(t) = MSL_A + \sum_{i=1}^m f_i H_i \cos(\sigma_i t + v_0 + u_i - g_i) + \delta_A(t) \tag{1}$$

式(1)中: MSL_A 为验潮站 A 平均海面, $\sum_{i=1}^m f_i H_i \cos(\sigma_i t + v_0 + u_i - g_i)$ 为验潮站 A 的天文预报潮位; $\zeta_A(t)$ 为验潮站 A 的余水位。

天文潮位是水位运动变化的主体,由若干分潮综合而成,假设分潮个数为 m ,则表达式为

$$T(t) = \sum_{i=1}^m f_i H_i \cos(\sigma_i t + v_0 + u_i - g_i) \tag{2}$$

式(2)中: H 代表分潮的振幅; σ 代表分潮角速率; v_0 代表分潮的天文初相角; g 代表分潮的迟角。

对于某一分潮 σ 和 v_0 可以通过天体运动推算得到, H 和 g 为分潮调和常数,是该分潮在某点振动变化的参数,由此将天文潮位的推算转化为分潮调和常数计算。潮汐模型根据拍摄位置给出各个分潮的调和常数 H 、 v_0 、 g_i 。根据时间 t 用式(2)预报出该海域 t 时刻的天文潮位。根据余水位具有空间相关性这一特点^[14],利用附近长期验潮站的提供的余水位,即可根据潮汐模型和长期验潮站的数据推算出不同拍摄时刻的潮位值,即水涯线高。

1.3 海岸线高计算

海岸线应以平均大潮高潮时所形成的实际痕迹进行测绘,实际上平均大潮高潮面的概念只存在于半日潮(规则半日潮与不规则半日潮)为主的海域,对于日潮(规则日潮与不规则日潮)占优海域则无实际意义,因为日潮占优的海域潮汐的变化规律与月相无关,而取决于月球赤纬^[15]。暴景阳、许军等研究认为从潮汐变化或潮差大小变化上,半日潮海域的大潮与日潮海域的回归潮都是值潮汐的极值状态,因此可以将平均大潮高潮面扩展到半日潮类型下的朔望大潮和日潮类型下的平均回归潮高潮面。

基于潮汐模型可回报模型范围内任一点过去一定时间长度的天文潮位,利用长期验潮站数据可获得同步期的余水位,二者叠加后可推算出某一位置的长期潮位数据,采用统计算法按潮差判断出每次大潮,再取每次大潮前后共 3 d 的高潮,多年长期数据的平均值即为平均大潮高潮面^[16],即海岸线高。

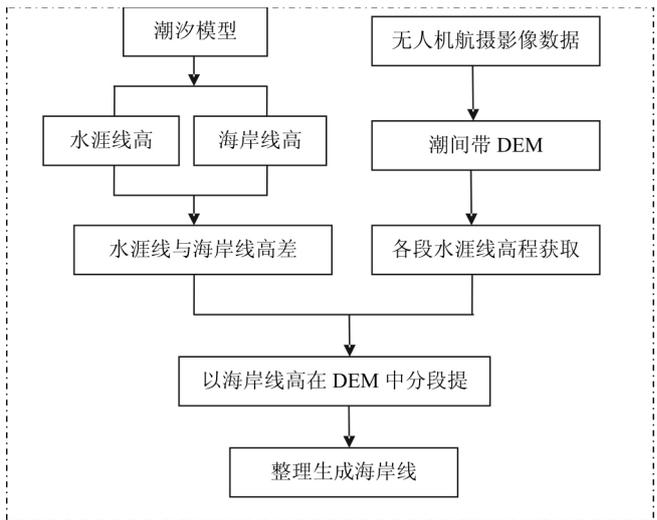


图 1 基于潮汐模型和 DEM 模型提取海岸线流程图

Fig.1 Coastline extraction flow chart based on tidal model and DEM model

2 海岸线提取试验

2.1 航摄概况

本次海岸线提取技术研究以无人机测量区域内的 4 段海岸线进行了实验,岸线性质涉及沙质海岸、基岩海岸和人工海岸 3 种情况,每段海岸线长度约 3.5 km,最大相距约 15 km。每段岸线的航摄测量时间约为 20 min,本实验设定影像分辨率为 15 cm(可满足 1:2 000 地形图测图要求),航高 580 m,航向重叠度为 80%,旁向重叠度为 60%,各段海岸线的位置分布如图 2 所示。

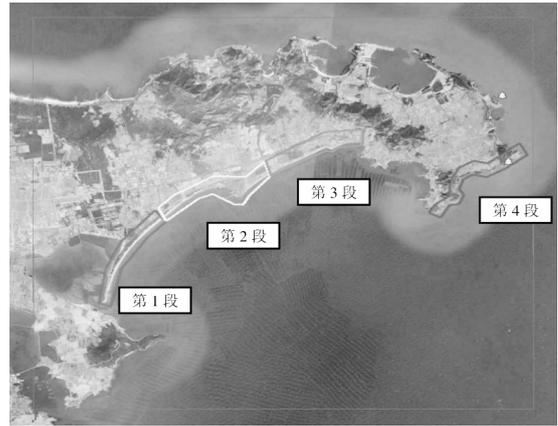


图 2 无人机航摄的 4 段海岸线位置分布图

Fig.2 Coastline distribution of 4 sections taken by UAV

2.2 潮汐模型数值推算

使用潮汐模型推算拍摄时刻的各个水涯线潮高值,按拍摄区域分 4 段计算出各个区域的海岸线的高,如表 1 所示。

表 1 潮汐模型推算的第 2 段海岸线数值

Tab.1 Coastline height of section 2 calculated by the tidal model

序号	航片编号	经纬度坐标		航摄日期	曝光时间	水涯线高	海岸线高	差值
		经度	纬度					
1	8697	122.595 075	37.366 362	20170826	8:23:34	-0.252	0.626	0.877
2	8701	122.595 021	37.368 302	20170826	8:24:00	-0.254	0.626	0.879
3	8703	122.596 822	37.369 676	20170826	8:24:12	-0.254	0.626	0.879
..
27	8737	122.623 827	37.381 181	20170826	8:27:17	-0.253	0.618	0.871
28	8739	122.625 595	37.382 607	20170826	8:27:31	-0.253	0.618	0.871
29	8741	122.627 231	37.383 930	20170826	8:27:44	-0.253	0.618	0.871

注:表中给出的水涯线高(瞬时水位)和海岸线高(平均大潮高潮面)均以当地平均海面起算,单位为 cm。

2.3 DEM 中水涯线高程获取和海岸线的提取

在 DEM 中选择部分水涯线痕迹清晰、稳定的区域提取其高程值,剔除误差较大的点后取其平均值作为该段水涯线的高程值。因此实际航摄时应选择风浪小时拍摄,或者在 DEM 中选择背风区域提取水涯线高程值(图 3)。

根据 DEM 中获取的水涯线高程值,顾及潮汐模型推算的差值,即可计算出每段海岸线在 DEM 中的高程值,进而在 DEM 中将海岸线作为一段等值线分段提取出来。在 DEM 中根据计算的各段海岸线高程提取整理的结果如图 4~图 5 所示。图 4 中短虚线为水涯线,长实线为提取的海岸线,图 5 中靠近水面的细虚线为提取的海岸线。



图 3 选择有代表性水域获取水涯线高程(线上离散点)

Fig.3 Choose representative water area to obtain the elevation of the water-edge line(discrete points on the line)



图 4 沙质岸、人工岸地区提取的海岸线
Fig.4 A coastline extracted from sandy or artificial shore areas



图 5 部分基岩岸地区海岸线提取结果
Fig.5 Coastline extraction results in bedrock shore area

3 研究结论

海岸线从其定义上应该是唯一的,但往往不论是采用现场测量还是航空航天遥感影像判绘方法,都会有不同的作业人员对同一岸段或同一作业人员对不同的岸段所测取的痕迹岸线也存在差异,甚至同一作业人员不同次的量测结果也不一致,导致了海岸线测绘成果的不确定性,这与测绘学对地形要素几何和物理意义准确、唯一表示的基本要求相违背^[17]。本文在通过总结目前海岸线测量方法的基础上,提出了一种新的海岸线测量方法,并选择一处海域进行了试验,得出了以下结论:

(1) 海岸线是低于一部分高高潮的,虽然高高潮所占比例不高,但往往是这些高高潮对海岸上的痕迹位置有直接影响,在风、浪及天文大潮的作用下将生活垃圾、水草贝壳等痕迹推向比海岸线更高的位置,造成人工实测岸线高程远大于实际海岸线高程,本次试验也验证了这一点,这样就造成了人工实测岸线更靠上一些,容易造成陆域的范围缩减;

(2) 在数据处理时发现,无人机影像构建的 DEM 模型在水涯线附近高程容易存在跳变,误差较大,分析原因应是拍摄时相机受水体折射、波浪运动、多路径效应等影响造成,因此无人机进行海岸线测绘时应尽可能选择风浪较小的时候进行或者选择在背风时拍摄,避免风、浪较大时拍摄,高、低平潮时是较为理想的航摄影时段;

(3) 通过文中给出的技术方案可以在 DEM 中提取出一条连续的海岸线,包含了位置和高程等较为详尽的信息,不会因测量比例尺的变化而降低精度,提取结果的精度主要取决于采用的潮汐模型误差和建立的 DEM 模型误差。传统的人工测量方式往往以点带线而又因人而异,尤其在一些痕迹模糊的区域、测量困难的区域,测量精度较差,不宜采用人工测量方式获取的结果来验证这种提取方式的准确性和可靠性,因此提取的精度难以准确评定;

(4) 本次研究引入“差分”的思想,将潮汐模型给出的水涯线与平均大潮高潮面的高差信息应用到 DEM 模型中,通过提取 DEM 模型中的部分水涯线高程进而可以确定海岸线在 DEM 中的位置;通过“差分”可以有效减弱模型自身的误差、避免潮汐模型和 DEM 模型基准不统一等问题;

(5) 本次提取的海岸线提取方法严格按照海岸线的定义进行实施,与海岸线的定义较为契合,改变了目前海岸线测量方式与定义要求不一致的现状,确保了测量成果的唯一性、可靠性,提取的精度较为均匀、适用于大范围的海岸线测量。这种方法今后在海图测量、海岛礁测量中将会有逐步体现出它的优势。

参考文献:

- [1] 林桂兰, 郑勇玲. 海岸线修测的若干技术问题探讨[J]. 海洋开发与管理, 2008(7): 61-67.
LIN G L, ZHENG Y L. Discussion on some technical problems of coastline survey[J]. Ocean Development and Management, 2008(7): 61-67.
- [2] GB 12327-1998 海道测量规范[S].
- [3] GB 12319-1998 中国海图图式[S].
- [4] 赵明才, 章大初. 海岸线定义问题的讨论[J]. 海岸工程, 1990(9): 91-99.
ZHAO M C, ZHANG D C. Discussions on the definition of shoreline[J]. Coastal Engineering, 1990(9): 91-99.
- [5] 林桂兰. 遥感在海岸线修测中的应用技术探讨[J]. 福建水产, 2005(3): 59-62.
LIN G L. Application of Remote-sensing Technique in Coastline Surveying[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2005(3): 59-62.
- [6] 刘善伟, 张杰, 马毅, 等. 遥感与 DEM 相结合的海岸线高精度提取方法[J]. 遥测技术与应用, 2011, 26(5): 613-618.
LIU S W, ZHANG J, MA Y, et al. Coastline Extraction Method based on Remote Sensing and DEM[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(5): 613-618.
- [7] 于彩霞, 王家耀, 许军, 等. 海岸线提取技术研究进展[J]. 测绘科学技术学报, 2014, 31(3): 305-309.
YU C X, WANG J Y, XU J, et al. Advance of Coastline Technology[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2014, 31(3): 305-309.
- [8] 许家琨, 刘雁春, 许希启, 等. 平均大潮高潮面的科学定位和现实描述[J]. 海洋测绘, 2007, 27(6): 19-24.

- XU J K , LIU Y C , XU X Q , et al. Scientific Locating and Practical Describing on Mean High Water Springs [J]. Hydrographic Surveying and Charting , 2007 27(6) : 19 - 24.
- [9]许军, 暴景阳, 刘雁春等. 基于POM模式与blending同化法建立中国近海潮汐模型[J]. 海洋测绘 2008 28(6) : 15 - 17.
XU J , BAO J Y , LIU Y C , et al. A Regional Tide Model around China Developed by POM and Blending Assimilation Method [J]. Hydrographic Surveying and Charting , 2008 28(6) : 15 - 17.
- [10]刘雷, 董玉磊, 曲萌等. 基于潮汐模型与余水位监控法的实例分析[J]. 海洋测绘 2015 35(4) : 36 - 39.
LIU L , DONG Y L , QU M , et al. Example Analysis Based on Tide Model and Residual Water Level Monitoring Method [J]. Hydrographic Surveying and Charting , 2015 35(4) : 36 - 39.
- [11]许军, 桑金, 刘雷. 中国近海及邻近海域精密潮汐模型的构建[J]. 海洋测绘 2017 37(6) : 13 - 16.
XU J , SANG J , LIU L. The Determination of Tide Model over the Chinese Seas [J]. Hydrographic Surveying and Charting , 2017 37(6) : 13 - 16.
- [12]秦震, 程梁秋, 秦莉真等. 近50年东江三角洲潮汐运动的变化研究[J]. 水道港口, 2018, 39(6) : 659 - 664.
QIN Z , CHENG L Q , QIN L Z , et al. Propagation of tidal waves up in Dongjiang River Delta in the last 50 years [J]. Journal of Waterway and Harbor 2018 , 39(6) : 659 - 664.
- [13]黄辰虎, 卫国兵, 翟国君等. 海道测量中余水位分离方法的研究[J]. 海洋测绘 2013 33(6) : 5 - 10.
HUANG C H , WEI G B , ZHAI G J , et al. Methods for Separation of Residual Water Levels in Hydrographic Survey [J]. Hydrographic Surveying and Charting , 2013 33(6) : 5 - 10.
- [14]唐岩. 余水位的时空分布规律及数值海面形态表达[D]. 大连: 海军大连舰艇学院 2007.
- [15]暴景阳, 许军, 关海波. 平均大潮高潮面的计算方法与比较[J]. 海洋测绘 2013 33(4) : 1 - 4.
BAO J Y , XU J , GUAN H B. The Algorithms for Calculation of the Mean High Water Spring and Their Comparison [J]. Hydrographic Surveying and Charting , 2013 33(4) : 1 - 4.
- [16]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.
- [17]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.

Study on coastline extraction method based on tidal model and DEM

DONG Yu-wei¹ , WANG Rong-jin¹ , LV Li-wei¹ , XU Jun²

(1. Tianjin Hydrographic Center , Tianjin 300222 , China; 2. Dalian Navy Academy , Dalian 116018 , China)

Abstract: In recent years , with the rapid development of satellite remote sensing and UAV technology , measuring the coastline by artificial method was gradually applied by coastline extraction from remote sensing images , and the remote sensing image interpretation was mainly based on the coastline trace on the image , or directly replaced by the water-edge line , but there were some shortcomings of these extractions. In this paper , a method of extracting coastline based on tidal model and DEM was presented , using UAV photography to construct DEM of the coastal zone and tidal model to calculate the height of coastline and water-edge line and their differences , according to the differences in tidal model and the elevations extracted from the DEM to calculate the height of coastline in the DEM , then the coastline positions were determined quickly and accurately in the DEM. Finally , this method is verified by the measured data which is more efficient and accurate , especially suitable for the difficult areas of artificial measurement , such as islands and reef , steep cliff and dangerous beach , etc.

Key words: coastline extraction; Mean High Water Spring; tide model; DEM model; water-edge line; unmanned aerial vehicle(UAV)