

南沙群岛海域浅海水深提取 及影像海图制作技术

邱凯昌 丁谦 陈薇 曹文玉

(国土资源部航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘 要 研究了南沙群岛海域 TM 图像提取浅海水深的模型和方法以及影像海图制作技术。在传统的多波段线性回归模型的基础上, 引入数据分组平均预处理、潮汐改正、分段线性回归和数据归一化等技术, 使改进后的模型更加合理并具有较高的精度, 从而适用于大的海域。在此基础上, 提出了一整套遥感影像海图制作的技术和工艺流程。

关键词 遥感 水深模型 多波段分段线性回归 影像海图

分类号 TP 79: P 714.1 P 285.42

0 引言

南沙群岛及其邻近海域自古以来就是我国领土, 该海域位于北纬 $3^{\circ}40' \sim 12^{\circ}00'$, 东经 $108^{\circ}00' \sim 118^{\circ}00'$, 面积 82 万 km^2 。由于远离大陆, 缺乏系统的地形地貌资料。海军有关部门曾用实测方法测制了少数几个岛礁的海图, “七五”期间, 广东测绘局曾用一景 TM 数据作过遥感方法测制水深图的研究。遥感测深方法尽管比实测方法精度低, 但具有全面覆盖、费用低、周期短和便于动态监测等优点, 很适合于浅海水域海底地形全面普查。地矿部航空物探遥感中心从 1994 年开始, 利用南沙群岛海域 18 个景区 26 个时相的 TM 数据, 开展遥感水深调查和制图工作。

浅海水深遥感是海洋遥感的重要研究课题。早在 60 年代末, 美国密执安环境研究所的一个研究小组就开始从事遥感测深的研究, 用 MSS、TM 和航片等多光谱数据和一些同步测量的海况数据进行测深模型研究, 提出了基于底面反射的遥感测深理论 (Bottom reflection - based remote bathymetric theory), 并长期在此方向研究探索^[11~13, 15]。除美国外, 其它许多国家也进行了类似的研究和应用。在国内, 国家海洋局二所、海军海洋测绘研究所、中科院南海海洋研究所、广东测绘局和中山大学等单位的有关机构也进行过从航天或航空遥感多光谱图像上提取水深的研究。国内外常用的方法是在理论模型的基础上进行某些简化, 根据一些实测数据建立统计模型, 得到有合理精度的遥感测深结果。研究的重点和方向是去除或削弱环境因素的影响特别是底质的影响, 提高水深遥感解译的定量化水平。据国内外大量的文献报道, 遥感测深模型的水深计算精度在 $1 \sim 3 \text{ m}$ 左右, 而这些模型多数是在较小区域建立起来的, 且实测数据比较丰富。

1 遥感测水深的原理

遥感方法探测浅海水深,其物理基础是光线对水体有一定的穿透力。在不同波长的电磁波中,可见光波段具有最大的大气透过率和最小的水体衰减系数,因而是水深遥感的最佳波段。

遥感图像的灰度与水深、底质反射率、水体悬浮物的浓度及大气条件等多种因素有关。当水体足够清澈、底质比较均一且大气条件较好时,遥感图像的灰度能较好地反映水深信息,两者有一定的相关关系。建立水深遥感模型即研究灰度与水深的关系。南沙群岛海域水体属大洋水,水中悬浮物、泥沙及浮游植物等含量很少,水质清澈,对光线的衰减系数较小,岛礁均为珊瑚礁,底质比较均一,很利于遥感测深。

对同一水体,可见光不同波段的透射能力并不一样。对于各种类型的水体,可见光衰减系数极小值都出现在蓝绿波段之间,对应于 TM 图像的 1、2、3 波段,这表明这几个波段是探测水深的最佳波段。研究表明,对于清澈的水体,利用这几个波段,可探测 30 m 以浅的水深。对于岛礁的解译与水深提取, TM 图像的各个波段有着不同的特点和用途。TM1 对水体穿透深度最大,对清洁水的穿透深度可达 30 m 左右; TM2 也有较强的穿透力,穿透深度可达 10 m 左右。尽管 TM2 对水体穿透力比 TM1 弱,但其水深分辨率却比 TM1 高; TM3 和 TM4 的水体穿透力弱,只对很浅的水深有一定的反映; TM5 和 TM4 对水上和水下信息的区分非常明显,可用于提取瞬时水涯线。

2 浅海水深遥感模型及其改进

一个常用的基于底面反射的模型为:

$$L_i = L_{si} + C_i R_{bi} e^{-fk_i Z} \quad (1)$$

其中, i 指的是波段号, L_i 是传感器接收到 i 波段的辐射值, L_{si} 是深水区辐射值,它反映了水面反射、水体散射及大气散射等的影响,而没有底质反射的影响, C_i 是与太阳辐照度、大气和水面透过率及水面折射等有关的常数, R_{bi} 是底质反射率, k_i 是水体衰减系数, f 是水体路径长度(通常取 2), Z 为水深。

将(1)式取自然对数得:

$$Z = \ln(C_i R_{bi}) / f k_i - \ln(L_i - L_{si}) / f k_i \quad (2)$$

假设底质反射率 R_{bi} 是常数,大气和海况是均一的,即衰减系数 k_i 是常数,并设

$$X_i = \ln(L_i - L_{si}) \quad (3)$$

$$A_0 = \ln(C_i R_{bi}) / f k_i \quad (4)$$

$$A_1 = -1 / f k_i \quad (5)$$

则:

$$Z = A_0 + A_1 X \quad (6)$$

其中系数 A_0 、 A_1 可用线性回归方法即可求得,这就是单波段线性回归模型。

若假设 $C_1 R_{b1} / C_2 R_{b2}$ 为常数,亦即设 $C_1 = C_2$ 时,底质反射率的比值与底质变化无关,则

可采用双波段比值法,即将两个波段的(1)方程取比值后再取对数得:

$$Z = [1/f(k_2 - k_1)] [\ln(C_1 R_{b1}/C_2 R_{b2}) - (X_1 - X_2)] \quad (7)$$

同样可写成类似(6)的简化形式。若此假设成立,则双波段比值法可消除底质变化的影响,但有关试验表明,此假设仅部分成立^[13]。

将单波段模型和双波段比值模型推广到多波段,则有:

$$Z = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_n X_n \quad (8)$$

用多元线性回归方法可求得各个系数,因此称之为多波段线性回归模型。

若在多波段模型中只用两个波段,且一次项的两个系数绝对值相等符号相反时,多波段模型就简化为双波段比值模型。但多数情况下,一次项系数并不相等。多波段算法一般优于单波段算法和双波段比值算法,并能在一定程度上削弱底质的影响。

在应用以上模型进行水深测图时,仍有下面一些细节问题值得研究和解决,这些问题的解决对提高模型的精度和实用性是至关重要的:

(1) 由于实测和遥感的取样方式不同,造成了建立水深模型时控制点的不对应问题。实测水深是某一点的精确深度, TM 图像灰度值是一个像元范围内的平均效果,而在 30 m × 30 m 范围内的水深变化可能相当大,特别是在岛礁的外沿部位。在这种情况下,若直接用实测水深点与像元灰度值回归,数据相关性会较差,会有相当大的误差。南沙海域实测水深资料很少,无法将实测水深点按图像像元大小网格化后再建立对应关系。针对这一问题,我们提出用数据预处理方法提高数据的相关性和可靠性,具体做法是将控制点数据按水深值分组平均,这就相当于从概率统计的角度提高了数据的可靠性,同时进行了剔除粗差的处理。试验表明,这种预处理方法能明显提高模型的精度和可靠性。

(2) 由于南沙海域广阔,潮汐影响必须纠正。遥感图像上的灰度是获取图像那一时刻瞬时水深的反映,而海图上标注的实测水深是将实测时的瞬时水深经潮汐改正后归算至理论深度基准面的水深。因此,直接用海图上的实测水深建立水深模型是不合理的,特别是在建立大区域的模型时其不合理性就更为突出。我们采用我国海洋测绘部门提供的卫星过境时的潮汐预报资料,在建立模型时将实测水深值加上潮汐预报值得到瞬时水深,用瞬时水深建立水深模型。根据该模型测深时,用灰度值解算出的瞬时水深值减去潮汐预报值得到实际水深值。建立模型时进行潮汐改正,能有效地提高模型的精度。

(3) TM1 和 TM2 两波段经常用于测深的研究,但它们对水深的穿透能力不同, TM1 波段穿透力强,对于清澈的水体能穿透到 30 m 以浅,而 TM2 波段对 10 m 以浅的信息反映比较突出, 10 m 以深的信息反映很弱。在建模的控制点数据分布图上也可以看出,在 10 m 两侧数据点分成两个不同的趋势。根据这一特点,我们将多波段线性模型改成多波段分段线性模型,对 10 m 以深和 10 m 以浅的数据分别回归解算这两套不同的系数。试验表明,分段线性模型精度优于整体线性模型。

(4) 由于深水信号中没有底质反射的影响,只要景区内的大气变化不明显,将观测信号减去深水信号,就相当于做了大气校正,也在一定程度上相当于在不同景间做了数据归一化处理^[14]。深水信号常取深水训练区信号的平均值减去二倍标准差。在有些文献中,直接用原始图像灰度值建立模型而未减深水信号,这是不合理的。我们在建模时进行了减深水信号这一步处理,效果明显。

总之,在常规的多波段线性回归模型的基础上,采取了数据分组平均预处理、潮汐改正、分段线性回归和数据归一化等改进措施,得到了改进的浅海水深遥感模型。

我们用永暑礁等 6 个岛礁的实测水深数据、航空摄影测量方法测制的部分 1:1 万比例尺海图中的水深数据和 TM1、TM2 图像数据建立水深模型。将海图反纠正到 TM 图像上,读取已知水深点的灰度值,减去深水区灰度后取自然对数,作为建立水深模型的观测值。结果为,永暑礁单个岛礁整体水深模型(未分段)的均方根误差优于 1.98 m,相关系数达 0.97;南沙群岛全区水深浅于 10 m 的均方根误差为 2.18 m,相关系数为 0.79;深于 10 m 的均方根误差为 2.80 m,相关系数为 0.76。上述精度指标是水深模型的理论精度,实际上,其中也包含了平面定位误差引起的水深误差。以未参与建模的部分实测水深及航测法所测水深作为所测水深的“真值”,与根据水深模型计算出的水深相比统计实际精度,全区均方根误差为 2.89 m。上述精度与国外报道的精度相当,考虑到我们是在实测数据十分缺乏的情况下建立大区域水深遥感模型的,因此,其结果还是满意的。根据测得的水深值,自动追踪出 30 m、20 m、10 m、5 m、0 m 5 根等深线与实测海图相比基本吻合,其中 20 m、10 m、5 m 的等深线吻合得很好。

3 影像海图制作

编制一套完整的遥感影像海图是本课题的主要任务之一,影像海图设计比例尺为 1:25 万,采用北京 54 坐标系,墨卡托投影,基准纬线为 9°。根据海图分幅一般原则和南沙地区岛礁分布特点,将影像海图分成 10 幅。制作影像海图的工艺流程见图 1。分幅设计和编图方案制定后,按照三条平行的线路开展工作。

(1) 图像处理 选取 TM4、TM2、TM1 三波段图像进行合成,并经过图像增强、墨卡托投影精校正、影像镶嵌及分幅剪裁等,得到精校正的影像图。由于缺少有效的控制点,影像精校正十分困难。根据轨道参数中的旋转角度,以及控制点和连接点信息,采用了一种旋转加平移的整体平差校正技术,得到了满意的精度。该部分工作主要由本项目另一个课题实施,将有另文专述。

(2) 浅海水深提取 根据水深模型,由图像灰度值得到瞬时水深值,以永暑礁的理论深度基准面作为全区的理论深度基准面,经潮汐改正得到实际水深值。按像元规则分布的水深数据即 DEM,从 DEM 中自动追踪出 30 m、20 m、10 m、5 m、0 m 等 5 根等深线,并进行适当编辑、综合和定位处理。

(3) 深海等深线编绘 为使影像海图信息丰富,根据出版的海图资料,按照分幅范围和比例尺,编绘 30 m 以深等深线和其它海图要素,并进行基准线改正、信息综合、数字化等处理。

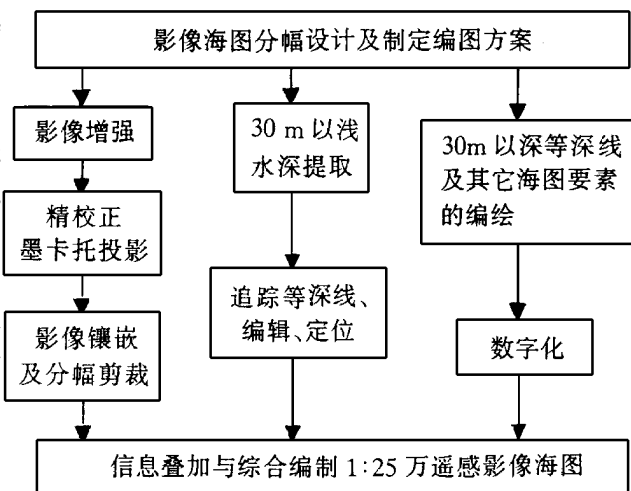


图 1 编制影像海图的工艺流程框图

最后,将自动测制的 30 m 以浅等深线和编绘的 30m 以深等深线及其它海图要素叠加到精校正的影像图上,经过深海区着色、注记和整饰,最终得到 10 幅 1:25 万比例尺遥感影像海图。图中岛、礁、滩、沙用遥感影像,等深线用黑色线条表示,深于 30 m 的海区根据水深用渐变的蓝色表示,既保持了遥感影像信息丰富的特点,又具有海图的特征。

另外,作为 1:25 万比例尺影像海图的补充,测制了以岛礁为单元的大比例尺影像水深图,并编制成南沙群岛卫星影像及水深图集。图集为超 A3 幅面,单面共 129 页,汇集了南沙群岛全区所有岛、礁、滩、沙的影像图及影像水深图,比例尺以 1:5 万为主。用高分辨率彩色喷墨打印机输出,图面清晰,细部信息丰富,全面地反映了南沙群岛岛、礁、滩、沙的位置、形态和水深信息。该图集为正式出版南沙群岛遥感综合调查图集打下了基础。

4 结语

本文根据南沙群岛海域特点,研究和提出了一种改进的浅海水深遥感模型,在常规的多波段线性回归模型的基础上,采取了数据分组平均预处理、潮汐改正、分段线性回归和数据归一化等改进措施,使改进后的模型更加合理并具有较高的精度从而适用于南沙群岛大的海域。

用南沙群岛海域 18 个景区 26 个时相的 TM 数据,编制了 1:25 万比例尺的南沙群岛遥感影像海图一套(10 幅)以及南沙群岛卫星影像及水深图集一本。在工作过程中,采用了专用遥感图像处理系统、桌面图像处理及数字制图系统,并开发了部分软件,对有关功能进行了优化组合,建立了一套完整的海洋遥感图像处理、水深提取及遥感影像海图编织的方法技术和工艺流程,为今后开展类似工作以及海洋遥感的有关工作奠定了技术基础。

可以设想,采用多种航天遥感数据源(如 TM、SPOT、SAR 等),结合航空摄影测量和地面测量,针对南沙群岛重点海区 and 本次工作中数据质量较差的海域开展更深入的研究和调查工作,将可进一步提高成果的现势性和精度。在遥感调查和制图的基础上,结合该区已有的资源、环境等多种资料,建立南沙群岛海洋国土基础地理信息系统并研制动态监测和数据更新系统,将对我国研究、开发和利用南沙群岛更为有利。

在本次工作中,王永江、晋佩东、何宇华、张幼莹、杨苏明等同志参加了部分图像处理和编图工作,同时得到了海军海洋测绘研究所李秉秋高级工程师等专家的指点与大力帮助,得到了总参测绘研究所有关专家的大力支持,在此一并表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- 1 任明达,吕斯骅,张绪定. 中国海岸卫星遥感解译. 北京:海洋出版社,1990
- 2 林敏基. 海洋与海岸带遥感应用. 北京:海洋出版社,1991
- 3 吴培中. 中国海洋水色遥感十年. 国土资源遥感,1994,(2)
- 4 李铁芳等. 浅海水下地形地貌遥感信息提取与应用. 环境遥感,1991,6(1)
- 5 李铁芳等. 卫星海洋遥感信息提取和应用. 北京:海洋出版社,1990
- 6 楼锡淳,朱鉴秋. 海图学概论. 北京:测绘出版社,1993
- 7 Baban S M J. The evaluation of different algorithms for bathymetric charting of Lakes using Landsat imagery. Int. J. Remote

- Sensing , 1993 , 14(12)
- 8 Bierwirth P N et al. Shallow Sea - Floor Reflectance and Water Depth Derived by Unmixing Multispectral Imagery , PE & RS , 1993 , 59(3)
- 9 Ji Wei et al. Satellite Remote Sensing Bathymetry : A New Mechanism for Modeling. PE & RS , 1992 , 58(5)
- 10 Luczkovich J J. Discrimination of Coral Reefs , Seagrass , Meadows , and Sand Types from Space : A Dominican Republic Case Study. PE & RS , 1993 , 59(3)
- 11 Lyzenga D R. Passive remote Sensing techniques for mapping water depth and bottom features. Applied Optics , 1978 , 17(3)
- 12 Lyzenga D R. Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. Int. J. Remote Sensing , 1981 , 2(1)
- 13 Nordman M E. Water Depth Extraction from Landsat - 5 Imagery. Proc. of 23th Int. Sym. on Remote Sensing of Env. , 1990
- 14 Philpot W D. Bathymetric mapping with passive multispectral imagery. Applied Optics , 1989 , 28(8)
- 15 Tanis F J. Evaluation of Landsat Thematic Mapper Data for Shallow Water Bathymetry. Proc. of 18th Int. Symp. on Remote Sensing of Env. , 1984

SHALLOW WATER DEPTH EXTRACTION AND CHART PRODUCTION FROM TM IMAGES IN NANSHA ISLANDS AND NEARBY SEA AREA

Di Kaichang Ding Qian Chen Wei Cao Wenyu

(Aerogeophysical Survey and Remote Sensing Center , Beijing 100083)

Abstract

This paper studies the model and techniques of extracting shallow water depth from TM images and image chart production in Nansha Islands and nearby sea area. On the basis of the conventional multi - band linear regression model , we develop a improved model by introducing a series of techniques including data pre - processing by group averaging , tidal correction , piecewise linear regression , data normalization , etc. . The improved model is more reasonable and accurate and suitable for large sea area. And we also present a set of techniques for remote sensing image chart production.

Key words Remote sensing Bathymetric model Multi - band piecewise linear regression
Image Chart

第一作者简介： 邸凯昌 男 1967 年生 , 高级工程师 , 博士生 , 目前主要从事 GIS 应用研究与开发、空间数据挖掘和知识发现的理论和方法研究。