

文章编号:1009-2722(2012)03-0052-08

# 珠江口水深遥感反演研究

朱俊凤,李文胜,王耿明

(广东省地质调查院,广州 510080)

**摘要:**建立了珠江口 2 个试验区遥感测深的多种统计相关模型,并选取相关性最好的模型进行水深反演和结果分析,探讨了不同悬沙浓度情况下遥感测深的可能性和实用性。结果表明,对于悬浮泥沙浓度大的试验区 1,实测水深值和遥感各波段 DN 值的相关性 < 0.5,实际反演水深的能力较差,加入了泥沙因子的统计相关模型相关性有较大提高,但水深反演精度仍不高,达不到实际应用的精度;而悬浮泥沙浓度较小的试验区 2,实测水深值和遥感各波段 DN 值的相关性基本大于 0.7,但加入泥沙因子后水深值和遥感波段的相关系数并没有提高,以 B2 为反演因子的指数模型反演精度最高,5~10 m 水深段的反演效果最好,平均相对误差为 22.5%、平均绝对误差为 1.56 m,模型总体平均相对误差为 31.9%、总体平均绝对误差为 1.92 m,反演结果较好地反映了试验区 2 的水深情况。从所建模型来看,非线性模型的反演效果均好于相应的线性模型,多因子模型好于单因子模型。

**关键词:**珠江口;水深;遥感;统计相关模型

**中图分类号:**TP75 **文献标识码:**A

珠江口是我国七大江河流域河口之一,是西江、北江、东江和注入珠江三角洲的其他各河流入海口的总称。珠江河口的河床演变、冲淤变化对水利、航运、近岸工程建设、滩涂开发有着重要影响,对流域防洪安全、水资源综合利用、生态环境,甚至珠江三角洲、香港、澳门特别行政区的经济社会的可持续发展都有着重大关系。

水下地形图是进行河床演变、冲淤变化分析必备的数据资料。传统的水深测量方法在资料的同步性、经济性、周期性、灵活性和宏观性等方面存在一定的缺点,而利用卫星遥感可以快速、大面积、准同步、高分辨率地获取多波段、多时相的影像资料。如何建立遥感影像和水深的关系成为水

深遥感的关键问题。

自 20 世纪 70 年代始,国内外在水深遥感研究方面做了不少探索,取得了大量成果。Lyzen-ga<sup>[1,2]</sup>针对波段比值算法计算水深的不足,提出了一种新的计算相对水深和获取水体底质信息的方法。研究表明,该方法受实际水深测量值误差的影响比其他方法小;Spitzer 和 Dirks<sup>[3]</sup>基于双向流辐射传输模式,提出了几种水深反演算法和底质组成算法,并将这些算法应用到不同的卫星遥感图像上;Ji 等<sup>[4]</sup>提出了基于水体后向散射的水深反演模型,该模型可用于反演深水和水质较混浊水域的水深情况;Bierwirth 等<sup>[5]</sup>利用卫星遥感图像进行了海岸地区水深图的制作。我国研究人员在遥感水深模型和应用方面也做了大量的工作。任明达<sup>[6]</sup>利用 Landsat MSS 进行了琼州海峡海岸带水深遥感解译工作;平仲良<sup>[7]</sup>利用海水的透射率、后向散射系数、海底反射率与海面反射率之间的关系,计算得出海面反射率随海水深度变化的关系;王国兴和李士鸿<sup>[8]</sup>利用 SPOT 卫星

收稿日期:2011-11-01

基金项目:中国地质调查局“珠江三角洲经济区城市群环境地质调查与区划”项目(1212010914045)

作者简介:朱俊凤(1985—),女,硕士,助理工程师,主要从事地质矿产、资源、环境遥感解译和研究工作。E-mail:308960259@qq.com

多波段图像资料获取安徽武昌湖的水下地形图,与实测水下地形图吻合良好;党福星和丁谦<sup>[9]</sup>利用 Landsat TM 多波段数据,通过对水深值进行潮汐改正和引入底质类型分区算法,建立了我国南海岛礁的浅海水深反演模型;周建军<sup>[10]</sup>、徐升<sup>[11]</sup>利用统计相关模型反演水深并分别进行了闽江口、长江口北港的冲淤演变分析;王晶晶和田庆久<sup>[12]</sup>对浅海水深进行了高光谱遥感反演方法研究,结果表明,水体反射率的一阶微分可以有效地削弱水质变化给水深反演带来的误差;王艳姣等<sup>[13]</sup>总结了水深可见光遥感的各种方法和研究进展,并给出了提高反演精度的意见。

以上研究表明,在不同地区、不同泥沙含量情况下,应用遥感进行水深测量和水下地形冲淤演变分析都是可行和实用的。从研究区域来看,我国黄河口、长江口、闽江口都有研究,而针对珠江口的遥感水深定量反演的研究成果还未见。因此,尝试利用 Landsat TM 多光谱影像和准同步的实测水深数据,通过建立影像光谱值和水深的多种统计相关模型,选取相关性最好的模型进行实际水深反演和结果分析,探讨珠江河口地区不同悬沙浓度情况下遥感测深的可能性和实用性。

## 1 研究区域概况

珠江河口是经济发达地区广州、东莞、中山、珠海、深圳和香港与澳门特别行政区相交接的地段,呈“三江汇流、八口入海”的情势,地形地貌和水动力条件十分复杂,为世界上最为复杂的河口之一,东起香港特别行政区的九龙半岛九龙城,西至台山市赤溪半岛鹅头颈,岸线长约 450 km。河口由八大入海口门组成,分为东四口门和西四口门,东四口门是虎门、蕉门、洪奇门和横门,一同注入伶仃洋浅海区,西四口门自东而西是磨刀门、鸡啼门、虎跳门和崖门,磨刀门和鸡啼门单独注入南海,虎跳门和崖门一同汇入黄茅海浅海区,除虎门、崖门为弱径流强潮流口门外,其他口门均属强径流弱潮流口门<sup>[14]</sup>(图 1)。

珠江河口径流丰富,承泄珠江流域 453 690 km<sup>2</sup> 的来水来沙,多年平均入海径流量为 3 260 亿 m<sup>3</sup>,多年平均输沙量为 7 098 万 t<sup>[15]</sup>。笔者将研究区划分为 2 个试验区分别进行水深反演,试

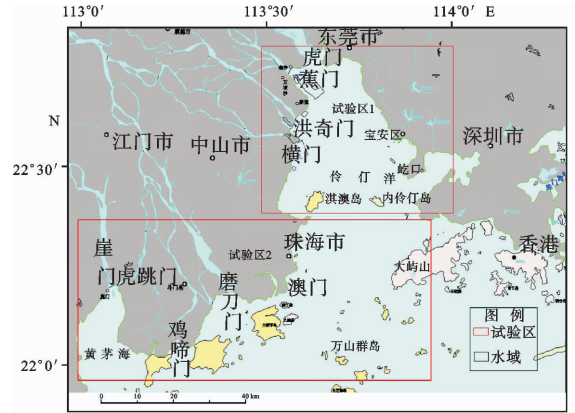


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographic location of study area

验区 1 为包括东四口门在内的伶仃洋海域,试验区 2 包括西四口门及附近海域。陈耀泰<sup>[16]</sup>根据珠江口水动力环境、沉积物类型、粒度和成分的特征,同时参照沉积速率、地貌形态等因素,把珠江口划分为 5 个沉积区:①径流型河口砂质沉积区:主要分布于伶仃洋西北一磨刀门口门—黄茅海东北、水深 < 5 m 的沿岸地带,包括 8 大口门中的 6 大口门,承泄了珠江口 85.6% 的悬沙;②潮流型河口泥质沉积区:分布于珠江口东、西部的虎门—伶仃洋和崖门—黄茅海两河口湾,悬沙含量较高;③现代河口泥沙混合沉积区:主要位于径流型和潮流型沉积区之间,为靠近径流型河口砂质沉积区的狭长地带,悬沙含量降低;④陆架浅海泥沙混合区:位于大屿山、高栏以南陆架北缘浅海海域,沉积作用微弱;⑤残留砂沉积区:位于伶仃洋南侧万山群岛附近,沉积作用微弱。试验区 1 包括①、②两类沉积区,总体悬沙浓度较高;试验区 2 包括了上述 5 类沉积区,且③、④、⑤所占面积较大,因而,总体悬沙浓度相比试验区 1 要低。试验区 1、试验区 2 分别进行水深反演,有利于分析、比较不同悬沙浓度的反演效果。

## 2 数据来源与预处理

### 2.1 数据来源

#### 2.1.1 遥感数据

Landsat TM 数据具有较高的光谱和空间分辨率,其光谱波段对水体具有较好的穿透性,能够

反映水下地形信息,在水深反演中被广泛应用。因此选取 Landsat TM 数据作为水深反演的遥感数据源。该数据波段设置为 TM1 0.45~0.52  $\mu\text{m}$  蓝波段;TM2 0.52~0.60  $\mu\text{m}$  绿波段;TM3 0.63~0.69  $\mu\text{m}$  红波段;TM4 0.76~0.90  $\mu\text{m}$  近红外波段;TM5 1.55~1.75  $\mu\text{m}$  短波红外波段;TM7 2.08~2.35  $\mu\text{m}$  短波红外波段,空间分辨率为 30 m。试验区 1 和试验区 2 的数据接收时间分别为 2000-11-01 和 2000-01-02。

2.1.2 水深数据和地形图

水深数据选取珠江口地区的 DEM 数据,成图比例尺为 1:25 万,成图时间为 1998 年,因此,可以认为是和遥感数据准同步的数据。地形图比例尺为 1:5 万,椭球参数为北京 54,用于对遥感数据进行几何校正。

2.2 数据预处理

数据预处理包括水深 DEM 数据投影变换、遥感数据的几何校正和大气校正。

2.2.1 投影变换

水深 DEM 数据为地理坐标,因此,将其投影变换为和地形图数据一致的高斯投影,椭球参数为北京 54。TM 遥感数据的空间分辨率为 30 m,为了保证水深数据和遥感光谱数据空间位置的一致性,水深数据也重采样为 30 m $\times$ 30 m 的栅格数据。

2.2.2 几何校正

采用 PCI 软件对遥感数据进行几何校正,通过在地形图和遥感影像上选取控制点,采用二次多项式进行校正,校正精度为一个象元。

2.2.3 大气校正

为了消除大气对地物反射率的影响,有必要进行大气校正。采用“暗目标”法进行大气校正。该方法把图像中的深水或阴影看作暗目标,该目标的 DN 值看作是大气层辐射,然后从图像中减去该值,从而进行大气校正。两景影像的各波段暗目标的 DN 值如表 1。

表 1 遥感影像暗目标 DN 值

Table 1 DN values of dark targets in remote sensing images

试验区	波段					
	1	2	3	4	5	7
1	55	32	24	16	13	9
2	72	43	33	19	11	9

3 水深反演

对于水深遥感模型而言,理论解译模型、半理论半经验模型存在光学参数多、模型复杂的缺点,而统计相关模型方便、灵活,区域适应性好,得到广泛应用<sup>[13]</sup>,因此,采用统计相关模型对东四口门的试验区 1、西四口门的试验区 2 分别进行水深反演研究,反演过程包括样本选取、相关性分析、回归分析、加入泥沙因子、反演结果与分析等过程。

3.1 试验区 1 水深反演

3.1.1 样本选取

首先使用 ArcGIS 的 create random points 功能生成试验区范围内的随机点数据,然后使用 spatial analyst tools 工具的 extract values to points 模块,提取同一点的水深数值和影像各波段大气校正后的 DN 值,最后去掉水深值大于等于 0 即为陆地的点数据,最终得到样本数据 207 个(图 2)。

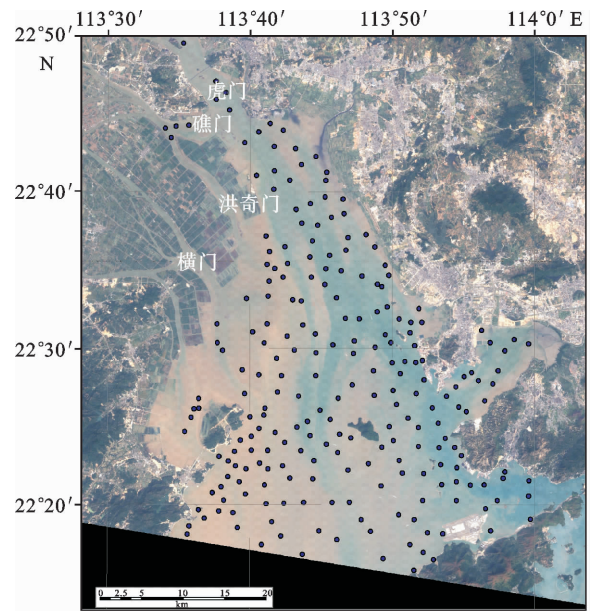


图 2 试验区 1 及其样本

Fig. 2 Location of testing area 1 and samples

3.1.2 相关性分析

为了选取较好的水深反演因子,对水深值和对应的遥感影像各波段 DN 值进行相关性分析。此外,波段组合可以综合多波段的水深信息,因此

选取了几个波段组合用于相关性分析,各波段及其组合和水深值的相关系数如表 2,其中, B1 表示波段 1, LNB1 表示波段 1 的对数, B2/4 表示波段 2 除以波段 4, 其他类推。

表 2 试验区 1 水深值和各因子的相关系数

Table 2 Correlation between water depth and various factors in testing area 1

因子	B1	B2	B3	B4	B5	B7
相关系数	0.328	0.218	0.432	0.418	0.02	0.166
因子	LNB1	LNB2	LNB3	LNB4	B2/4	
相关系数	0.322	0.217	0.451	0.469	0.479	
因子	LNB3 * 4	B2 * 4	B3 * 4	LNB2/4	LNB2 * 4	
相关系数	0.470	0.404	0.400	0.477	0.461	

李铁芳<sup>[17]</sup>指出,对于清澈水体,水深遥感的最佳波段为蓝、绿光波段,红光和近红外波段次之,波段 5、7 最差,而本文的计算结果是红光、近红外波段和水深的相关性好于蓝、绿波段,这是因为珠江口水域泥沙含量较高,波谱反射峰值向长波方向移动即“红移”所致。其次,各波段及其组合和水深值的相关性整体偏弱,但在 0.01 的置信区间内为强相关关系。

3.1.3 回归分析

选取相关性较好的波段或组合作为水深反演因子,即 B3、LNB3、B2/4、LNB3 \* 4。为了得到最好的反演模型,尝试建立不同类型的回归方程,包括线性、对数、平方、立方和指数模型。各反演因子各模型的相关系数如表 3,从中看出,除指数模型外,其他非线性模型的相关性好于对应因子的线性模型的相关性,所有模型的相关系数都低于 0.5,试验区 1 的回归方程相关性整体偏弱。

表 3 试验区 1 各种反演模型的相关系数

Table 3 Model correlations in testing area 1

因子	模型相关系数				
	线性	对数	平方	立方	指数
B3	0.431	0.450	0.471	0.471	0.345
LNB3	0.450	0.456	0.494	0.494	0.349
B2/4	0.479	0.476	0.481	0.483	0.385
LNB3 * 4	0.470	0.481	0.485	0.485	0.405

3.1.4 加入泥沙因子反演模型

王艳姣<sup>[18]</sup>的研究成果表明,通过引入悬沙浓

度影响因子,能够削弱悬浮泥沙对遥感测深的影响,提高长江口遥感测深的精度。珠江口和长江口一样,属于河口区,属于悬浮泥沙浓度较大水域,因此,其研究成果具有可借鉴性。由于缺少研究区的悬浮泥沙浓度、粒径及其与光谱反射率关系的实测数据,本文借鉴文献<sup>[18]</sup>的研究成果,引入泥沙因子,低浓度泥沙因子为  $X_D = (B2 + B3) / (B1 / B2)$ ,高浓度泥沙因子为  $X_G = (B2 + B4) / (B1 / B4)$ , B1 为 TM 影像波段 1 的 DN 值,其他类推,分别构建  $B3 / X_D$ 、 $B4 / X_D$ 、 $B3 / X_G$ 、 $B4 / X_G$  4 个因子,然后计算其与水深值的相关系数。结果表明,  $B4 / X_G$  和水深值的相关性最强,相关系数为 0.519,对列表 2 可看出,相关系数有较大提高。以  $B4 / X_G$  为自变量进行回归分析,立方模型的相关系数最大,为 0.586,回归方程如下:

$$H = 12.237 - 71.41X^2 + 75.974X^3 \quad (1)$$

式中: X 为  $B4 / X_G$  的值;

H 为水深值(正数)。

对列表 3,加入泥沙因子的反演模型的相关系数同样有较大提高,表明水深反演模型反演的精度提高,同时水深因子为  $B4 / X_G$  也表明试验区 1 的悬浮泥沙浓度较大。尽管加入泥沙因子的回归方程的相关系数有较大提高,但相关系数还是偏低。

3.1.5 反演结果与分析

用相关系数最大的、以  $B4 / X_G$  为反演因子的立方模型(公式(1))对试验区 1 进行水深反演。为了对各水深段的水深反演情况进行对比分析,计算了各水深段和总水深反演结果的平均相对误差、平均绝对误差,平均相对误差计算公式如(2)、平均绝对误差计算公式如(3):

$$Y_{\text{相}} = \sum_{i=2}^n \left| \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1} \right| / n \quad (2)$$

$$Y_{\text{绝}} = |Z_1 - Z_2| / n \quad (3)$$

式中:  $Z_1$  为实际水深;

$Z_2$  为反演水深;

n 为样本个数。

水深分为 0~5 m、5~10 m、10~15 m 3 个分段,计算结果如表 4。可以看出,水深反演精度不高,达不到实际应用的精度。图 3 为试验区 1 反演结果,从图中可以看出,尽管精度不高,但试验区东岸水体相比西岸深,整个区域基本呈“三滩两

槽”的格局,这和人研究成果一致<sup>[19]</sup>。

表4 试验区1各水深段反演结果分析

Table 4 Results of testing area 1

水深段/m	0~5	5~10	10~15	0~15
平均相对误差	1.062	0.318	0.392	0.843
平均绝对误差	1.70	2.28	5.33	2.04

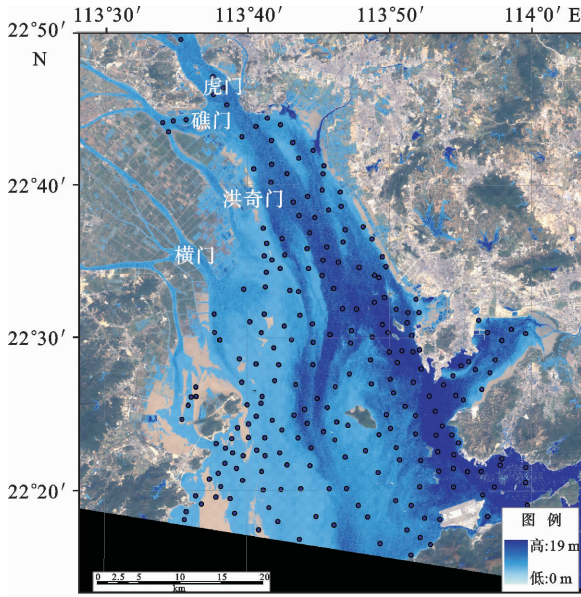


图3 试验区1反演结果

Fig. 3 Bathymetric map derived from remote sensing in testing area 1

### 3.2 试验区2水深反演

#### 3.2.1 样本选取

采样同样的方法,选取试验区2水深值<15 m的样本数461个(图4)。选取水深值<15 m的样本的原因是目前遥感水深反演的适用水域为浅水区<sup>[18]</sup>。

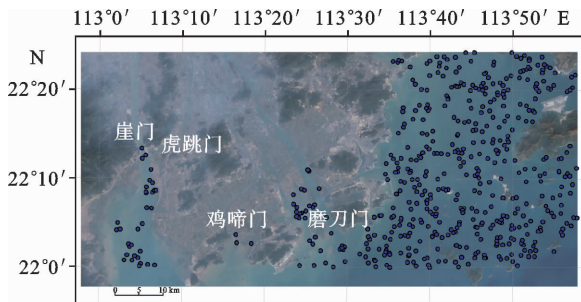


图4 试验区2及其样本

Fig. 4 Location of testing area 2 and samples

#### 3.2.2 相关性分析

各波段及组合和水深值的相关系数如表5。从表5可以看出,绿波段和水深值的相关系数好于红、近红外波段的相关系数,说明了试验区2的水体相比试验区1的水体较为清澈。

表5 试验区2水深值和各因子的相关系数

Table 5 Correlation between water depth and various factors in testing area 2

因子	B1	B2	B3	B4	B5	B7
相关系数	0.570	0.736	0.683	0.556	0.243	0.046
因子	LNB1	LNB2	LNB3	LNB4	B2/4	
相关系数	0.556	0.746	0.701	0.594	0.038	
因子	LNB3 * 4	B2 * 4	B3 * 4	LNB2/4	LNB2 * 4	
相关系数	0.691	0.654	0.591	0.029	0.711	

#### 3.2.3 回归分析

选取相关性较好的B2、B3、LNB2、LNB3、LNB3 \* 4、LNB2 \* 4作为反演因子,进行回归分析,结果如表6。从中可看出,相比试验区1,试验区2的回归方程的相关系数大大提高了,其中以B2为水深反演因子的指数模型的相关系数最大,为0.776,回归方程如下:

表6 试验区2各种反演模型的相关系数

Table 6 Model correlations in testing area 2

因子	模型相关系数				
	线性	对数	平方	立方	指数
B2	0.736	0.745	0.750	0.751	0.776
B3	0.683	0.701	0.711	0.715	0.762
LNB2	0.745	0.747	0.747	0.747	0.771
LNB3	0.701	0.699	0.701	0.701	0.758
LNB3 * 4	0.690	0.691	0.693	0.693	0.750
LNB2 * 4	0.711	0.712	0.713	0.713	0.755

$$H = 105.756e^{-0.1316X} \quad (4)$$

式中:X为波段2的DN值;

H为水深值(正数)。

此外,还通过逐步回归剔除一些相关性不强的因子进行了多因子的反演,最终因子是LNB2、

LNB1、LNB3 \* 4, 回归方程的相关系数为 0.768, 高于所有单因子线性模型的相关系数、除因子 B2 指数模型外的所有非线性模型的相关系数。

3.2.4 加入泥沙因子反演模型

同样引入低浓度泥沙因子  $X_D = (B2 + B3) / (B1/B2)$ , 高浓度泥沙因子  $X_G = (B2 + B4) / (B1/B4)$ , 构建  $B2/X_D$ 、 $B2/X_G$ 、 $B3/X_D$ 、 $B3/X_G$ 、 $LN2/X_D$ 、 $LN2/X_G$ 、 $LN3/X_D$ 、 $LN3/X_G$  等因子, 并计算它们与实测水深的关系系数, 结果分别为 0.545、0.618、0.076、0.643、0.742、0.276、0.137、0.137。从中可以看出, 加入泥沙因子的关系系数并没有提高, 因此不考虑泥沙因子。

3.2.5 反演结果与分析

利用上述关系系数最大的、以 B2 为反演因子的指数模型(公式(4))对试验区 2 的水深进行反演, 图 5 为模型水深反演值和实测值的比较。

水深分为 0~5 m、5~10 m、10~15 m 3 个分段, 同样计算各水深段的平均相对误差、平均绝对误差(表 7)。从表 7 看出, 试验区 2 的反演效果好于试验区 1, 其中 5~10 m 反演效果从平均相对误差、平均绝对误差来看都较好, 0~5 m 反演结果的平均绝对误差最小, 但平均相对误差较大, 10~15 m 反演结果平均绝对误差最大, 但平均相对误差较小。

表 7 试验区 2 各水深段反演结果分析

Table 7 Results from testing area 2

水深段/m	0~5	5~10	10~15	0~15
平均相对误差	0.438	0.225	0.279	0.319
平均绝对误差	1.26	1.56	3.46	1.92

将反演模型应用于试验区 2 的整个水域, 反演结果如图 6, 口门及海岸区域水深基本小于 5 m, 大屿山和万山群岛附近海域较深, 反演结果基本反应了试验区 2 的水深情况。

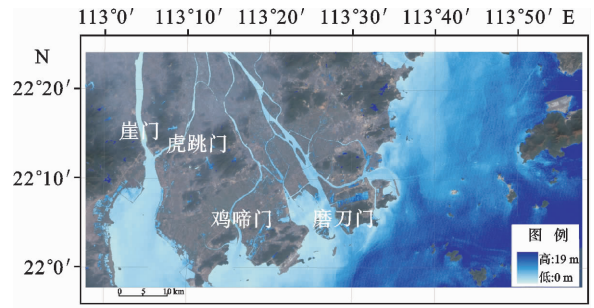


图 6 试验区 2 水深反演结果

Fig. 6 Bathymetric map derived from remote sensing in testing area 2

4 结论与讨论

4.1 结论

选择珠江口的 2 个悬浮泥沙浓度不一样的试验区作为水深反演的研究区, 建立了实测水深值和遥感光谱值的多种统计相关模型, 并选取相关性最强的模型进行了水深反演和结果分析。研究表明, 对于悬浮泥沙浓度较大的试验区 1, TM3、TM4 和实测水深的相关性优于 TM1、TM2, 但相关性小于 0.5, 实际反演水深的能力不强。引入“泥沙影响因子”, 将各波段及其组合与“泥沙影响因子”进行比值运算作为新的反演因子能提高和实测水深的相关性, 但加入泥沙因子反演模型的精度还是没有达到实际可用的程度, 选取相关性最好的模型进行反演, 结果精度不高, 但基本反映了整个区域的水深趋势。相比试验区 1, 试验区 2 的悬浮泥沙浓度较低, 统计相关模型的相关性较高, 关系系数基本达到 0.7 以上, 但加入泥沙因子

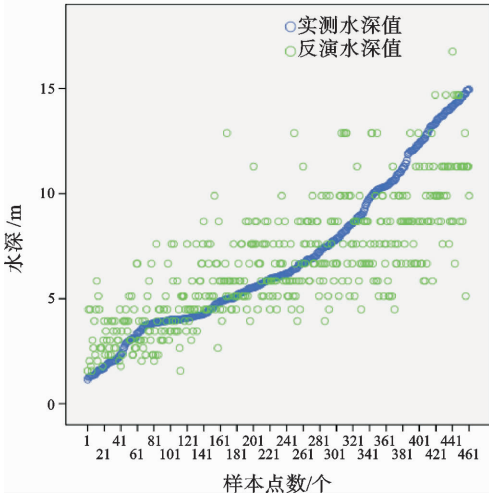


图 5 水深反演值和实测值比较

Fig. 5 Comparison of water depth derived from remote sensing and actual values

后水深值和遥感波段的相关系数并没有提高。试验区2的反演模型中以B2为反演因子的指数模型的反演精度最高,反演结果对5~10 m水深段的反演效果较好,平均相对误差为22.5%、平均绝对误差为1.56 m,总体平均相对误差为31.9%、总体平均绝对误差为1.92 m,反演结果较好地反映了试验区2的水深情况。从反演模型来看,非线性模型的反演效果都好于对应反演因子的线性模型,多因子线性模型好于单因子线性模型。

#### 4.2 讨论

研究表明,对于悬浮泥沙浓度大的河口区,尽管加入泥沙因子的水深反演的精度提高,但统计相关模型的精度仍达不到可实际应用的程度。因此,要想使这类水域的遥感测深实际可用,还要依赖于获取水体中泥沙、叶绿素、叶黄素等干扰因子对水体光谱反射率的影响,加强水体中悬浮物或溶解物的光谱反射规律的研究,去除或抑制水体内部噪声信息的影响以突出水深信息。

统计相关模型中实测水深数据通常成图时间较长,而卫星遥感数据是瞬时过程,因此遥感数据的接受时间要尽量和实测水深数据接近。此外,实测水深数据以大地理论基准面为标准,未考虑遥感成像时的波浪信息,因此,在遥感水深反演时进行波高订正对于提高反演精度具有重要的意义。但由于缺少遥感成像时的潮汐信息,且珠江河口属弱潮河口,潮差较小<sup>[14]</sup>,因而未做潮汐改正,部分影响了水深反演的精度。

#### 参考文献:

[1] Lyzenga D R. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features [J]. Applied Optics, 1978,17(3):379-383.  
[2] Lyzenga D R. Remote sensing of bottom reflectance and water

attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data [J]. Int. J. Remote Sensing,1981,2(1):71-82.  
[3] Spitzer D,Dirks R W J. Bottom influence on the reflectance of the sea [J]. International Journal of Remote Sensing, 1987,8(3):279-290.  
[4] Ji W,Civco D L,Kennard W C. Satellite remote bathymetry: a new mechanism for modeling [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,1992,58(5):545-549.  
[5] Bierwirth P N, Lee T J, Burne R V. Shallow sea-floor reflectance and water depth derived by unmixing multispectral imagery [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,1987,59(2):221-228.  
[6] 任明达. 琼州海峡幅卫片的多光谱解译[J]. 海洋与湖沼, 1981,12(3):210-224.  
[7] 平仲良. 可见光遥感测深的数学模型[J]. 海洋与湖沼,1982(3):225-230.  
[8] 王国兴,李士鸿. 应用遥感资料获取库区水下地形的研究方法研究[J]. 河海大学学报,1998(6):91-94.  
[9] 党福星,丁 谦. 多光谱浅海水深提取方法研究[J]. 国土资源遥感,2001(4):53-58.  
[10] 周建军. 水深遥感模型及其在闽江口冲淤变化分析中的应用[D]. 武汉:中国地质大学,2004.  
[11] 徐 升. 基于水深遥感的长江口北港冲淤演变分析[D]. 南京:南京师范大学,2006.  
[12] 王晶晶,田庆久. 海岸带浅海水深高光谱遥感反演方法研究[J]. 地理科学,2007,27(6):843-848.  
[13] 王艳姣,董文杰,张培群,等. 水深可见光遥感方法研究进展[J]. 海洋通报,2007,26(5):92-101.  
[14] 廖梓瑾. 珠江河口整治工程的生态影响浅析[J]. 广东水利水电,2006(3):39-40+44.  
[15] 邢前国. 珠江口水质高光谱反演[D]. 北京:中国科学院研究生院(南海海洋研究所),2007.  
[16] 陈耀泰. 珠江口沉积分区[J]. 中山大学学报(自然科学版),1995,34(3):109-114.  
[17] 李铁芳,徐秉正,易建春. 卫星海洋遥感信息提取和应用[M]. 北京:海洋出版社,1990.  
[18] 王艳姣. 基于悬浮泥沙影响的水深遥感方法研究[D]. 南京:南京师范大学,2006.  
[19] 夏 真. 珠江口内伶仃洋水下地形地貌特征[J]. 海洋地质与第四纪地质,2005,31(1):19-24.

## USING REMOTE SENSING TO DEFINE WATER DEPTH IN THE PEARL RIVER ESTUARY

ZHU Junfeng, LI Wensheng, WANG Gengming

(Guangdong Geologic Survey Institute, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** We established a variety of statistical correlation models between water depth and remote sensing image in this research. A best model was selected for feasibility study in two experimental zones with different concentrations of suspended sediment in the Pearl River Estuary. In the testing area 1 with high suspension, the correlation between the observed water depth and the band DN values of remote sensing image was less than 0.5, and the capacity to define the actual water depth was poor. The correlation of the statistical model was much improved after taking the sediment factor into account, but the precision of remote sensing water depth remain low and beyond the required precision in application. In the testing area 2, where sediment concentration is low, the correlation between the observed water depth and the band DN values of remote sensing image was higher than 0.7, but there is no improvement after taking the sediment factor into consideration. The precision of exponential model was the highest using B2 as variable and the best results were gained in the area with water depth at 5-10m. The mean-relative-error was 22.5% and the mean-absolute-error was 1.56m, with an overall mean-relative-error of 31.9% and a mean-absolute-error of 1.92m. It means that the water depth derived from remote sensing are more satisfied in the testing area 2. As the conclusion, the nonlinear model was better than the linear model, and the multiple factor model better than single factor model.

**Key words:** Pearl River Estuary; water depth; remote sensing; statistical correlation model