

内河水深遥感的应用

陈一梅¹,张东生²,罗 健³

(1. 东南大学交通学院,江苏 南京 210096;2. 河海大学交通与海洋工程学院,江苏 南京 210098;
3. 河海大学水资源环境学院,江苏 南京 210098)

摘要 利用陆地卫星 TM 影像研究闽江竹岐至侯官河段的水深,建立了遥感信息与水深之间关系的数学模型.研究表明:用最低通航水位时的水域边界裁取研究水域,可消除边界点因水陆信息混合产生的误差,提高遥感水深精度;用两个时相遥感所得的水下地形计算河床冲淤值,进一步削减了由遥感信息源转换成水深信息时的误差,结果与用实测地形资料计算的结果基本一致,能满足河床演变分析和冲淤量计算的要求.

关键词 河床冲淤 水深遥感 相关分析

中图分类号 TP79:TV147

文献标识码 A

文章编号 1000-1980(2003)02-0229-04

水下地形是港口、航道工程研究及河床演变分析的基础资料.关于遥感水深研究,国内外尚处于探索阶段,浅海水深遥感研究已有不少报道^[1~3],内河水深遥感研究很少^[4,5].本文以闽江竹岐至侯官河段水域为研究对象,选用 1996 年 12 月 22 日和 1998 年 12 月 17 日两个时相陆地卫星 TM 影像作为遥感信息源,利用 GIS 和 RS 技术,提取遥感光谱值和实测水深信息,建立遥感光谱值与水深之间关系的数学模型,反演水下地形,对遥感水深在内河河床冲淤分析中的应用进行探讨.

1 水深遥感信息模型

由于现阶段水深遥感模式在研究过程中作了各种假定,使用中针对性强,随自然环境变化差异很大,模式的移植性差,所以必须结合研究水域特点,建立水深遥感模式.利用所建模式,可以快速处理所研究水域(或地形地貌与水文条件类似水域)的遥感图像,获取大面积水深资料.由于各种模式中以统计相关模式最为方便、灵活,因此本文以统计相关模式为基础建立适合本研究水域的水深遥感模式.

对研究水域地形数字化处理后输入 GIS,建立实测水下地形的数字地形模型.利用 ARC/INFO 软件在整个研究水域提取遥感图像和实测水深图上的相同位置的数据,进行相关分析.经分析发现,水深与光谱值组合($TM2 \times TM3$)之间非线性相关关系良好.这里两个波段乘积运算,近似于加宽波段范围,有利于水深信息的展开.取 $\ln(TM2 \times TM3)$ 为横坐标值, $\ln H$ 为纵坐标值,点绘散点图,如图 1、图 2 所示.图 1 和图 2 中相关性指标 R^2 的表达式为

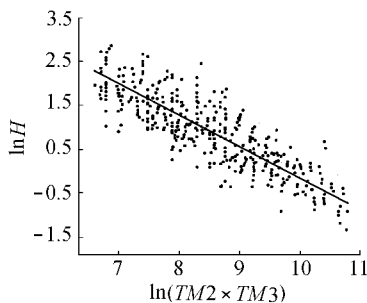


图 1 1996 年遥感光谱值与实际水深相关图
Fig.1 Correlation between spectral value
and actual water-depth for 1996

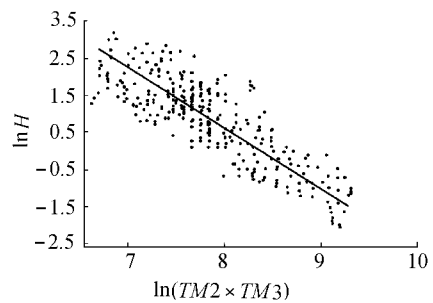


图 2 1998 年遥感光谱值与实际水深相关图
Fig.2 Correlation between spectral value
and actual water-depth for 1998

收稿日期 2001-12-18

基金项目 交通部优秀青年专业人才专项基金资助项目(6721005002)

作者简介 陈一梅(1961—),女,江苏南京人,副教授,博士研究生,主要从事港航工程研究.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (H_i - \hat{H})^2}{1 - \sum (H_i - \bar{H})^2} \tag{1}$$

式中： H_i ——实测水深； $\bar{H}$ ——实测样本点的平均值； $\hat{H}$ ——遥感水深值。

经统计计算得两个时相的相关指标 R^2 分别为 0.847,0.852. 两个时相实测水深与光谱值组合之间非线性方程可描述为

$$H = k(TM2 \times TM3)^b \tag{2}$$

上述非线性关系可化为一元线性回归分析问题. 等式两边取对数得 $\ln H = \ln k + b \ln(TM2 \times TM3)$. 令 $y = \ln H, x = \ln(TM2 \times TM3), a = \ln k$, 则有

$$y = a + bx \tag{3}$$

利用式(3), 上述问题转化成一元线性回归问题. 统计计算得式(3)的系数分别为

$$a = 7.378 \quad b = -0.769 \quad (1996 \text{ 年 } 12 \text{ 月 } 22 \text{ 日})$$

$$a = 12.460 \quad b = -1.529 \quad (1998 \text{ 年 } 12 \text{ 月 } 17 \text{ 日})$$

于是

$$H = e^{7.378} (TM2 \times TM3)^{-0.769} \quad (1996 \text{ 年 } 12 \text{ 月 } 22 \text{ 日}) \tag{4}$$

$$H = e^{12.460} (TM2 \times TM3)^{-1.529} \quad (1998 \text{ 年 } 12 \text{ 月 } 17 \text{ 日}) \tag{5}$$

2 成果分析与应用

2.1 成果分析

(4), (5) 两式试验数据范围在 15 m 以内, 用其反演所得水深的平均误差分别为 15.9%, 15.7%, 水陆交界的边界点误差较大, 最大的可达 25.3% 左右. 就内河水深而言, 这一误差偏大, 将直接影响内河遥感水深方法的应用. 产生这一误差现象的原因是 Landsat 卫星传感器地面分辨率为 30 m × 30 m, 水陆交界附近像元多为混合像元, 这种混合像元由水、陆区域内多种地物信息组成, 即 TM 影像信息在水域内和在边界上所含遥感信息是不同的. 因此, 从大面积水域获取的样本点建立起来的模式用于水陆交界区域误差自然较大. 由于水域内遥感信息与水陆交界点的遥感信息内涵不同, 要用统计相关模式减小或消除边界点的误差难于实现, 所以应设法去除边界点. 设计最低通航水位是允许标准船舶或船队正常通航的最低水位, 略高于历年最低水位, 因而设计最低通航水位下的水域边界较实测水位时的水域边界要小. 为了去除边界点, 将遥感数据与同期实测水深进行相关时, 用设计最低通航水位下的水域实测水深与遥感水深进行叠合比较, 这时遥感水深平均误差减小分别为 11.10%, 10.37%.

2.2 应用

河床冲淤结果的形态分析和量值计算在研究河床地貌、浅滩演变、航道整治等过程中占有重要地位. 在研究中常常因为实测资料遗缺无法进行系统分析和比较. 由于遥感信息获取便捷, 水深遥感研究已取得初步成果, 因此在缺乏某一阶段实测资料的情况下, 可利用历史阶段遥感资料推求出水深, 从而实现冲淤分析的目的.

考虑到某一时相遥感资料所得水深精度较实测地形精度差, 用实测地形与遥感所得地形直接产生河床冲淤值, 误差会很大. 本例选 1996 年 12 月 22 日和 1998 年 12 月 17 日两个时相遥感水深计算枯水河床冲淤值. 图 3 为两个时相遥感水深相减所得的河床冲淤等值图, 图 4 为 1996 年 10 月和 1998 年 11 月实测地形资料计算所得的冲淤等值图. 对比图 3 和图 4, 发现两种方法所得冲淤分布规律非常吻合. 选取两图中淤积范围相对较大、淤积厚度大于 2 m 的 6 块淤积体, 统计淤积体体积、淤积体面积、淤积体平均厚度, 结果见表 1. 从表 1 可见, 平均淤积厚度的相对误差小于 7%, 淤积体表面面积相对误差小于 9.4%, 淤积体体积相对误差小于 13.7%, 用两个时相遥感水深计算枯水河床冲淤分布能满足浅滩演变定性与定量分析精度的要求. 其原因是: 尽管遥感水深误差大, 但从反演所得的断面图来看, 遥感水深误差存在诸多综合因素的影响, 两个时相遥感水深误差表现形式基本一样. 用两个时相水深相减起到了削减误差的作用. 另一方面, 冲淤分析所需精度较水深测量精度要求低, 因此用两个时相遥感水深计算枯水河床冲淤, 效果较好.

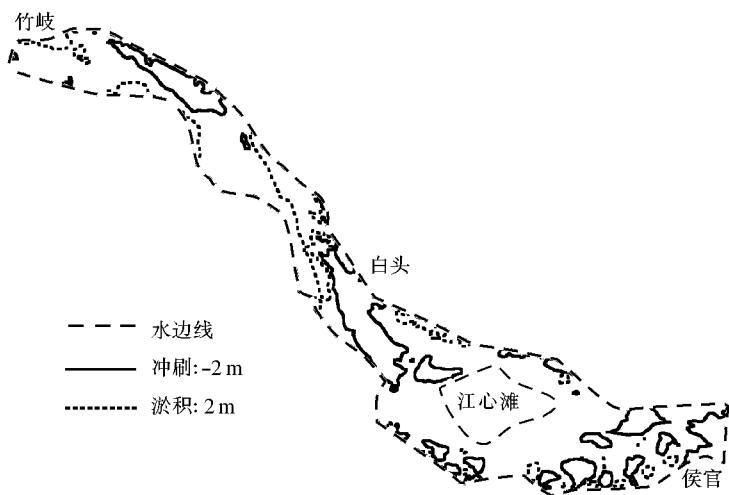


图 3 遥感水深计算所得枯水河床冲淤等值图

Fig.3 Isograph of scour and deposition during low water calculated by remote sensing water-depth

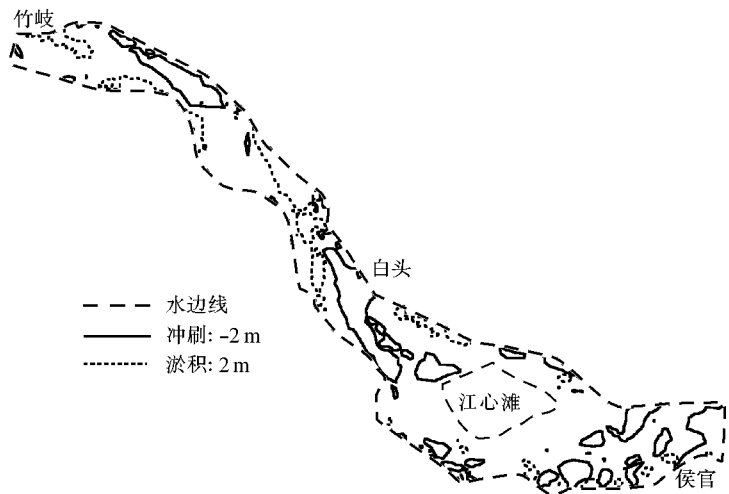


图 4 实测水深计算所得枯水河床冲淤等值图

Fig.4 Isograph of scour and deposition during low water calculated by measured water-depth

表 1 淤积体实测与遥感值统计

Table 1 Statistics of measured and remote sensing values of deposits

序号	淤积体面积			淤积体体积			平均淤积厚度		
	实测/m ²	遥感/m ²	相对误差/%	实测/m ³	遥感/m ³	相对误差/%	实测/m	遥感/m	相对误差/%
1	66 708	70 952	6.4	136 085	154 674	13.7	2.04	2.18	6.9
2	64 483	63 975	- 0.7	167 549	156 739	- 6.5	2.60	2.45	- 5.8
3	31 041	33 829	9.0	91 570	90 324	- 1.4	2.95	2.67	- 2.3
4	213 615	201 969	- 5.3	717 464	654 379	- 8.8	3.37	3.24	- 3.9
5	49 710	45 049	- 9.4	130 737	113 974	- 12.8	2.63	2.53	- 3.8
6	78 426	71 765	- 8.5	180 380	156 448	- 13.3	2.30	2.18	- 5.2

3 结 论

- a. 水深遥感方法可给地形资料短缺情况下长时段河床演变分析补充缺测的资料；
- b. 研究河段的水深和光谱值组合之间存在良好的非线性关系；
- c. 用设计最低通航水位时的边界截取研究水域,可提高内河遥感水深的精度；
- d. 用两个时相遥感水下地形计算的冲淤结果与用实测地形资料计算的结果基本一致；

e. 水深遥感是一种有效方法,尚需继续探索.

参考文献:

- [1] 黄伟良. SAR 浅滩水下地形测量[M]. 北京 中国科学出版社, 1996. 172—180.
- [2] 王文, 张东, 张鹰. GIS 技术在水深遥感中的应用[J]. 河海大学学报, 1998, 26(6) 82—85.
- [3] BIERWIRTH P N. Shallow sea-floor reflectance and water depth derived by unmixing multispectral imagery[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1993, 3 331—338.
- [4] 尤玉明. 汉江航道整治中水深遥感技术应用研究[A]. 见 第八届全国海岸工程学术讨论会论文集[C]. 北京 海洋出版社, 1997. 138—147.

Water depth remote sensing for inland rivers

CHEN Yi-mei¹, ZHANG Dong-sheng², LUO Jian³

(1. College of Transportation, Southeast Univ., Nanjing 210096, China ;

2. College of Traffic and Ocean Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China ;

3. College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract : A mathematical model was developed for the relationship between the remote sensing information and water depth based on a study of the water depth of the Zhuqi-Houguan section of the Minjiang River by use of the TM image spectrum of the land satellite technology. The research shows that the determination of the region to be studied according to the boundary of the water area at the lowest navigable stage can eliminate the error at the boundary points caused by the mixed water-land information and improve the precision of remote sensing water depth. It is also indicated that the calculation of riverbed scour and deposition based on the underwater topography obtained by remote sensing at two intervals can reduce the error caused by the conversion of the remote sensing information into the water depth of rivers. The result calculated with remote sensing information is in good agreement with that calculated with the measured data, showing that water depth remote sensing can meet the requirement for analysis of riverbed evolution and the precision of calculation of riverbed scour and deposition.

Key words : riverbed scour and deposition ; water depth remote sensing ; correlation analysis