

文章编号: 0529-6579 (1999) 05-0109-05

河道演变的遥感研究方法及应用^{*}

亢 庆, 王兴玲

(中山大学遥感中心, 广州 510275)

摘 要: 在人为或自然因素的作用下, 河道环境常发生频繁的变化, 其变化规律用常规方法很难了解. 而遥感具有宏观、动态、系统研究的优势, 在河道环境研究方面具有可行性. 探讨了河道环境变化的遥感研究方法, 并以东江为例进行了试验性应用研究. 结果表明, 在 1988~1997 年 10 年间, 东江中下游河段河道环境具有明显的演变过程, 岸、滩冲淤变化明显, 大部分河床发生严重下切, 部分地区发生淤积.

关键词: 遥感; 河道; 东江

中图分类号: P 332.3 **文献标识码:** A

河道环境在自然因素和人为干扰下常发生变化, 用常规监测方法很难对其进行宏观、动态、全面的研究. 遥感技术具有快速、宏观地进行大尺度调查、监测的优势, 在研究河道环境的变化规律方面具有一定的应用前景. 本文在河道环境遥感调查方法方面进行了一些研究, 并以东江为例进行了试验.

东江是珠江三大水系之一, 干流全长 562 km, 流域面积 35 340 km². 上游岩石经流水的冲蚀、搬运、分选, 在中下游河道形成了优质的建筑材料——河沙. 近 10 年来珠江三角洲经济高速发展, 建筑材料需求量大增, 开挖河沙就成为东江流域十分活跃的产业. 同时由于航道工程的影响, 在东江中下游地区, 特别是博罗至石龙之间的河段, 河道的变化很大. 这对东江供水任务和航运业务造成了严重影响, 必须加以调查、整治和控制^[1, 2]. 由于近 10 年内没有全面详细的实测资料 (仅有 1988 年航道水深资料), 为此只能应用卫星图像来弥补缺失的历史监测资料. 通过遥感信息分析的方法可以获得东江中下游河道演变的情况及规律.

1 研究方法和工作过程

1.1 水深遥感探测的方法

太阳光入射水体时, 可见光的短波部分穿透水体, 部分能量被水体吸收、散射, 另有部分能量到达水底后被底质反射, 最终被后向散射和反射的部分能量回到水面以上, 为遥感传感器所获取. 水的深度与光能衰减之间的关系为^[3]

^{*} 收稿日期: 1998-11-20 作者简介: 亢 庆, 男, 1973 年生, 研究生.

$$L_w = L_0 R \exp(-\alpha Z) \quad (1)$$

式中, L_0 为入射光的辐射度; L_w 为离水辐射度; Z 为光谱能量的入水深度; α 为水体对入射光谱能量的衰减系数, 它包括水分子及悬浮物对光能量的吸收、散射造成的衰减; R 为底质反射率. 即当水深接近于 0 时(即靠近岸边), $Z \approx 0$, $\alpha \approx 0$, 入射光衰减的程度可忽略, 根据(1)式即有 $L_0 R = L_w$. 水源不为 0 时, 则有

$$Z = \frac{\ln(L_0 R / L_w)}{\alpha} \quad (2)$$

式中, L_w 表示遥感图像中河道的亮度值. ($L_0 R$) 可以通过对岸边浅滩处的像元值采样统计而求出. 至此(2)式 Z 的求解, 只需确定 α 值即可.

衰减系数 α 与水体的混浊度、溶于水的有机质、无机质浓度, 以及水体表面的波动程度有关, 是很难确定的. 此外, 卫星遥感的空间分辨率和光谱分辨率制约着探测精度的提高. 因此本研究技术方法的关键是尽可能提取河道水深变化的信息, 抑制干扰, 提高不同年份的遥感图像数据的可比性.

为研究河道的演变过程及规律, 选用以下时间过境的 Landsat 卫星 TM 图像资料: 19881124, 19901013, 19931224, 19951230, 19970829. 另外, 选用仅有的 1988 年 4 月实测的东江航道图.

1.2 河道遥感信息提取处理

根据 Gordon (1987) 提出的传感器对入水深度的辐射灵敏度概念, 比较 TM 各波段的水深探测分辨率及灵敏度. 选用水陆边界最灵敏的 TM5 波段提取河道岸、滩变化信息. 选用 TM3 波段图像研究东江中、下游河床地形变化, 局部地区选用 TM2 波段作补充.

1.2.1 几何配准 完成 5 幅 TM 图像与 1988 年航道图的几何配准处理. 配准后的遥感图像与航道图 (1:50 000) 叠合的误差在 1~2 个像元以内 (小于 60 m), 各年的图像与航道图均可做叠合和河道的内插放大、比较等信息处理, 同时便于对水深遥感信息的采样训练.

1.2.2 大气校正 每幅卫星影像成像时的大气条件不同, 必须进行大气校正. 由于所选用的图像资料中都有深海的影像, 在深海区图像的亮度值应该为 0, 或因图像在接收站已进行了校正而为某个特定的值. 故把各年深海区的亮度值对齐, 则校正了大气影响造成的亮度差异.

1.2.3 河床变化的信息处理 ① 水陆分离. 为了突出水陆边界和沙洲形态, 以及它们的演变过程, 应将陆域信息抑制, 增强水域特征. 应用各年的 TM5 波段图像制成河道覆盖模板 (河道内亮度为 0, 岸上亮度为 1), 对其它波段图像进行运算得到 TM2、TM3 的河道图, 用于进行水深信息的处理. ② 岸、滩变迁信息处理. 用 1988 年 TM5 的水陆分离图与其他各年份的 TM5 水陆分离图叠合、求差, 可得到其余各年份与 1988 年的岸、滩迁移演变过程图 (图 1). ③ 水深变化信息提取处理. 首先对河道图像进行平滑滤波, 以便消除和抑制遥感器系统出现的工作点漂移、水面的波动, 以及水体内部悬浮物质分布不均匀等水深信息的干扰信息. 因水深值 Z 是连续变化的, 在像元分辨率范围 (30 m) 内, Z 的变化很小, 因此平滑主要影响到 α , 即令 α 变得更均匀、平滑, 为后续处理——抑制 α 影响建立基础. 但应注意平滑次数不宜过多, 以免损失水深信息. 同时, 需在河道模板的覆盖下只对河道进行平滑滤波处理, 从而避免造成岸上信息的干扰.

河道图像都已进行了大气校正，各年的图像数据具有可比性（为叙述方便，年份用下标 j 表示）。 α_j 在河道不同位置而有变化，需对 α_j 进行校正。但要测量或推断全河道的 α_j 分布是不可能的，只能尽量抑制和消除。处理方法如下：

$$\rho_j = \ln \left[\left(L_0 R / L_w \right)_j \right] = \alpha_j Z_j \tag{3}$$

由于运算过程中会增强噪声，故需对遥感信息量 ρ_j 图像进行平滑滤波。至此可将 1988 年的水深信息提取出来，根据（3）式，将 ρ_{1988} 图像与 1988 年的航道图进行相关分析，建立回归方程

$$Z'_{1988} = A \rho_{1988} + B \tag{4}$$

通过回归分析，确定回归系数 A 、 B ，将 1988 年的图像变换为水深图像 Z'_{1988} 。

可认为河道中同一位置 α_{1988} ， α_{1990} ， α_{1993} ， α_{1995} ， α_{1997} 是相近的，则有

$$\frac{\rho_j - \rho_{1988}}{\rho_{1988}} = \frac{(\alpha Z)_j - (\alpha Z)_{1988}}{(\alpha Z)_{1988}} \approx \frac{\Delta Z_{j-1988}}{Z_{1988}} \tag{5}$$

$$\Delta Z'_{j-1988} = Z'_{1988} \frac{\Delta \rho_{j-1988}}{\rho_{1988}} \tag{6}$$

由式（6）可得到 $\Delta Z'_{j-1988}$ 分布图，即经过归一化及回归分析所标定的差值图，与 1988 年水深图计算后可得到其余各年的水深图。

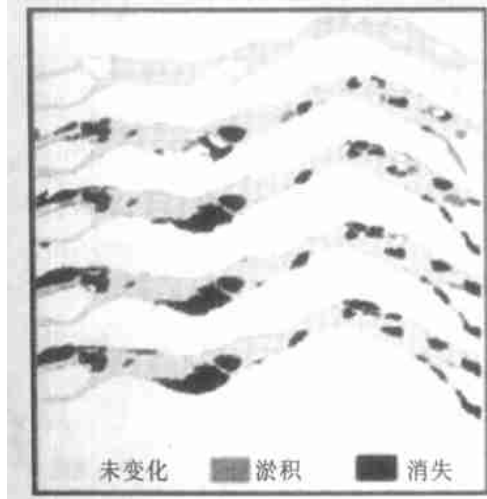


图 1 东江局部河段岸滩变化图
Fig 1 Changes of banks and sandbars

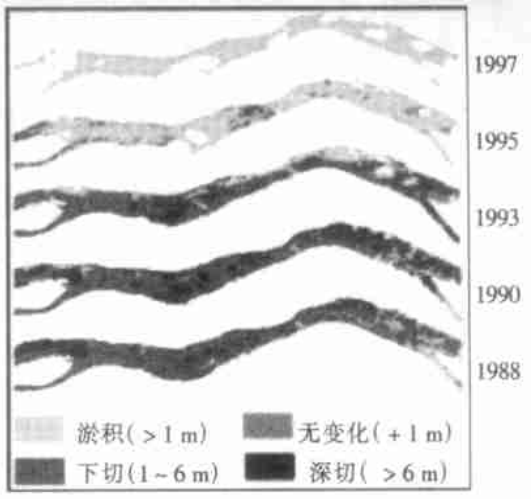


图 2 东江局部河段地形变化图
Fig 2 Changes of riverbed terrain

1.2.4 河床地形变化处理 各年的河道水深分布图生成之后，可根据水位资料推算河床地形。与卫星同步的水位资料见表 1。从 1988 年航道图上可知，此河段比降均一，可根据博罗和石龙 2 水文站的水位对中间河段水位进行线性内插，产生的误差不大。因此，依照 1988 年航道图上的绘图水位每 1~2 km 为单位内插一个水位值。单位河段的水位值与相应的水深值进行减运算即得到此河段的地形分布。各年份地形进行求差即可得到地形变化图，见图 2。

1.2.5 遥感水深的误差分析 由于适当的波段选择和采取一系列的校正、滤波、标准化和回归分析的信息增强和提取处理，有效地抑制了非目标信息的干扰，因此误差主要取决

于遥感图像本身的分辨率。TM 图像的空间分辨率为 30 m；TM3 水深分辨率为 0.6 m（河

表 1 卫星影像同步水位资料(珠江基准面)

Tah 1 The water level data synchronous as satellite images(datum level of the Pearl River)

时 间	日均水位/ m	
	博罗站	石龙站
198804（航道图）	5.23	-0.15
19881124	5.62	1.0
19901013	6.71	0.49
19931224	5.61	0.18
19951230	5.24	0.23
19970829	7.28	1.03

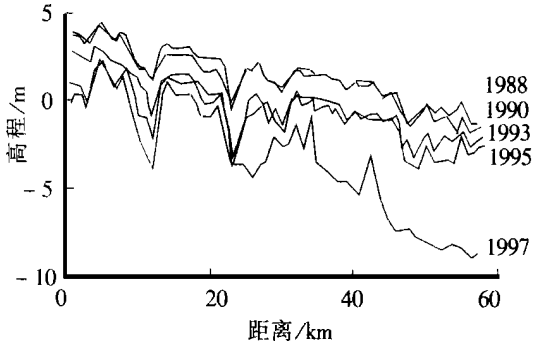


图 3 东江博罗—石龙段河道纵剖面图

Fig. 3 Profile of the river reach between Boluo and Shilong of the Dongjiang River

水混浊度较大时，其水深分辨率会更大些，可达 0.5 m 左右^[3]。经过统计可以得知，航道水深图与遥感水深信息图之间相关系数在 0.8 以上。作为对河道演变趋势分析，这种精度是可以接受的。

2 东江下游河道演变规律分析

2.1 河沙损失量的估算

根据上述的卫星图像处理结果，可对东江下游河道的岸滩、河床地形的变化作出半定量的估算和分析。估算精度（此处指遥感最佳分辨率）通过其空间分辨率和水深探测精度（以实测数据验证，最大误差小于 1 m，平均误差约为 0.5 m^[2]）推算，对岸、滩估算的精度约为 400 m³，最大误差约为 800~1 000 m³。由于边界像元与地物的大小形状有关，影响了误差的大小。但变动频繁的沙洲体积往往大于 5 000 m³，因此总体的估算精度在 10%~15%。对讨论 10 a 间每相隔 2~3 a 的河道变化而言，此误差是可以接受的。9 a 间此河段河沙损失总量达到 661 万 m³，平均每年约损失 73 万 m³。排除河流搬运的作用，人为挖沙作为河沙损失的一个重要原因，其规模是相当惊人的。

2.2 淤积新滩

在消失的沙洲和岸滩的下游方向，或者紧靠着有损失的滩则有回淤现象，沙滩有向下游方向推移的迹象，其原因实际是旧滩被采挖，同时在下游方向淤积新滩的结果。

2.3 河床地形的变化特征

由于河沙的大量损失，河床地形的形态和结构发生了改变，原有的水动力和物质分布的平衡被打破，导致了河床的进一步演变。归纳起来，此段河床演变具有以下特点：① 上游段河床 1988~1993 年间下切较严重，至 1995 年下切有减缓趋势甚至淤积，而下游段则持续严重下切，尤其在 1995 年后，下切程度惊人。人为挖沙是造成这种现象的原因。东江中下游已近河口，水位比降不大（表 1），自然情况下不会发生如此规模的下切。下游石龙附近由于人为采挖，河道环境的变化已远远超出自然限度，导致河床发育异常。② 河床普遍下切，局部甚至达到 10 m。③ 由于河床深切，浅滩发生崩塌，水边线随着不同

年份略有摆动, 河面有局部展宽或变窄现象. ④ 本河段河床仍处于演变之中.

2.4 河床演变趋势

从图 3 可看到, 博罗—石龙河段河床大部分处于珠江基准面之下. 今后若沙损失量 (主要是挖沙量) 逐步减少或维持在 1997 年的水平上, 本河段将逐步淤积, 河床缓慢地变平滑, 河滩逐步回复或发育. 在本河段中, 这种趋势将自上游向下游方向传递.

参考文献:

- [1] 廖竞欧, 黄带如, 范结球, 等. 东江流域水资源开发利用及合理调配研究 [A]. 见: 广东省东江流域治理开发专题研究 [C]. 北京: 海洋出版社, 1993. 1~29.
- [2] 张瑞杭, 刘启峻, 黄广建, 等. 东江下游河段河床下降引发的问题和对策探讨 [J]. 热带地理, 1996, 16 (3): 236~243.
- [3] 李铁芳, 徐秉正, 易建春, 等. 卫星海洋遥感信息提取和应用 [M]. 北京: 海洋出版社, 1990. 19~33.

Application of Remote Sensing Technology in Riverbed Changes

KANG Qing^{*}, WANG Xing-ling

Abstract: Environment of riverbed is changed frequently by nature and human-beings. And that is difficult to survey the environment with the general methods. In this paper, processing methods of remote sensed information are offered and used to study the changes of the Dongjiang river. Some macroscopic, dynamic and quantitative results show that landscape of channel, banks and sandbars changed violently due to over-exploiting sand from 1988 to 1997.

Keywords: remote sensing; riverbed; the Dongjiang river