

水体悬浮泥沙动态监测的遥感反演模型对比分析——以鄱阳湖为例

陈晓玲^{1,2}, 吴忠宜¹, 田礼乔¹, 陈莉琼¹, 叶 艺¹

1. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079
2. 江西师范大学鄱阳湖生态环境与资源研究教育部重点实验室, 南昌 330022

[摘要] 水体泥沙是进行水环境监测及研究与泥沙输移有关的侵蚀、沉积过程所带来的灾害问题的关键因素, 实现悬浮泥沙遥感定量动态监测的关键在于建立合适的反演模型。采用实测光谱模拟 TM/ETM+ 和 MERIS 数据, 对比分析了单波段和波段比值遥感因子构建的 5 种常用的经验半经验模型。结果表明, 以 MERIS 第 7 波段遥感反射率为遥感因子建立的对数模型最适宜鄱阳湖地区悬浮泥沙的动态监测。

[关键词] 灾害监测; 遥感; 悬浮泥沙

[中图分类号] TP751, P237.9

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)06-0019-04

Inversion Model for Dynamic Monitoring of Suspended Sediment: A Case Study on Poyang Lake

CHEN Xiaoling^{1,2}, WU Zhongyi¹, TIAN Lijiao¹, CHEN Lijiong¹, YE Yi¹

1. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China
2. The Key Laboratory of Poyang Lake Ecological Environment and Resource Revelopment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China

Abstract: The suspended sediment is closely related with water environment quality and is also the key issue in the disaster study associated with the processes of erosion, deposit and sediment transportation. A fitted inversion model plays an important role in the dynamic monitoring of suspended sediments. In this study, in situ observed remote sensing reflectance data were used to simulate the corresponding channels of TM/ETM+ and MERIS data. A comparison is made on five empirical and semi-empirical inversion models for a single channel and the ratios among different channels. The result suggests that the logarithmic model based on reflectance of MERIS channel 7 is most suitable for suspended sediment dynamic monitoring in Poyang Lake.

Key Words: disaster monitoring; remote sensing; suspended sediment

CLC Numbers: TP751, P237.9

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)06-0019-04

0 引言

水体悬浮泥沙含量是重要的水质参数之一。从水资源保护的角度看, 进入水体的泥沙, 影响水体感观, 降低水体透光度和富氧条件, 影响水生生物的光合作用, 对水体的生态环境产生重要影响^[1]。泥沙本身含有相当数量的黏土矿物质和有机、无机胶体, 可以吸附种类繁多的污染物, 因而具有净化水环境的效应。但是, 正是泥沙的这种吸附特性, 使得它同时也成为污染物

和污染物载体, 对水环境造成污染^[2]。另外, 水体泥沙的侵蚀、搬运和堆积过程, 将直接导致河道冲刷下切、河道淤积抬高等情况发生, 间接引起洪水位抬升和主流摆动并造成滩岸坍塌或工程出险等^[3]。而河流上游来沙量减少也可能导致河流入海口三角洲海岸蚀退, 进而极大地改变区域生态环境, 造成包括湿地生态系统破坏、生物多样性受损等灾害^[4]。因此, 水体悬浮泥沙监测对水质、水环境监控、监测泥沙输移带来的灾害等均有

收稿日期: 2007-02-14

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2003CB415205), 国家自然科学基金项目(40676094), 教育部“长江学者和创新团队发展计划”创新团队项目(IRT0438)

作者简介: 陈晓玲, 女, 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 教授, 主要研究方向为遥感/地理信息系统应用;

E-mail: cxl@lmars.whu.edu.cn

出, 反射比可以部分消除水表面光滑度和微波随时间和空间变化的干扰, 并在一定程度上减少其他成份的影响^[22], 通常采用遥感反射率比值来定量估算悬浮物浓度, 即 $R_{\text{band}i}/R_{\text{band}j}$ 。因此, 本文选取 $R_{\text{band}i}, R_{\text{band}i}/R_{\text{band}j}$ 作为遥感因子, 其中, $R_{\text{band}i}, R_{\text{band}j}$ 为传感器第 i 和 j 波段的遥感反射率 ($i \neq j$)。对于 TM/ETM+, 选取前 4 个波段构建遥感因子, 共 16 种组合, 生成 80 个模型; 对于 MERIS, 选择所有波段构建遥感因子, 共 225 种组合, 生成 1 125 个模型。

2 结果与讨论

2.1 反演模型的建立

将 14 个采样点按悬浮物浓度 (8 ~ 138 mg/L) 从高到低排序, 隔 3 个点抽样构建检验样本空间, 用于检验回归模型的精度和可靠性, 其余 11 个点用于建立回归模型。按照 TM/ETM+ 和 MERIS 的波段设置计算相应波段的等效遥感反射率, 并构建出单波段、波段比值和多波段组合遥感因子。通过回归分析, 分别建立各遥感因子 R 与悬浮泥沙浓度之间的反演模型, 并求解出模型决定系数 (R^2) 与浮泥沙浓度拟合值和实测值之间的平均相对误差 (MRE), 选取 5 种模型中效果最好的列于表 2。

从表 2 可以看出, 采用 R_{TM3} 的对数模型决定系数 (R^2) 为 0.982 6, 悬浮泥沙浓度拟合值和实测值之间的平均相对误差 (MRE) 为 0.121 6, 均优于其他模型。线性模型与对数模型, 宜采用单波段遥感因子, 分别为 R_{TM4} 和 R_{TM3} ; 幂指数、Gordon 和负指数模型宜采用波段比值 ($R_{\text{TM2}}/R_{\text{TM3}}$) 遥感因子。MERIS 数据在 5 种模型中均表现优越。除 Gordon 模型宜采用波段比值 ($R_{\text{MERIS06}}/R_{\text{MERIS07}}$) 遥感因子, 其他模型均适宜采用单波段遥感因子, 分别为

$R_{\text{MERIS12}}, R_{\text{MERIS07}}, R_{\text{MERIS06}}$ 和 R_{MERIS09} 。

2.2 模型对比分析

从上述两种传感器数据建立的悬浮泥沙反演模型中可以看出, TM3, MERIS06, MERIS07, $R_{\text{TM2}}/R_{\text{TM3}}$ 和 $R_{\text{MERIS06}}/R_{\text{MERIS07}}$ 等遥感因子对悬浮泥沙浓度较为敏感。但是不同波段对水体的穿透能力是不一样的, 而天然水体中的悬浮泥沙浓度的垂向分布也是不均匀的, 因此, 不同波段的遥感反射率比值实际上反映了不同深度范围内的平均含沙量。波段比值构建的遥感因子具有一定的不合理性, 在构建遥感因子时应尽量避免。

在负指数模型中, 遥感因子的值随着悬浮泥沙浓度的增加趋近于某个极值, 在进行反演时, 一旦超过该极值, 则模型无实数解, 反演失败。

本文使用的 TM/ETM+ 和 MERIS 数据均为模拟光谱数据, 未考虑不同信噪比、数据量化等级和空间分辨率的影响。事实上, MERIS 传感器的信噪比和数据量化等级远高于 TM/ETM+, 但空间分辨率要低于 TM/ETM+。另外, MERIS 的重复观测周期为 2~3 d, TM/ETM+ 的重复观测周期为 16 d, 相比较而言, MERIS 数据更能满足遥感动态监测的需求, 具有不可比拟的优势。

综上所述, 鄱阳湖地区最适宜采用 R_{MERIS07} 为遥感因子建立的对数模型进行悬浮泥沙动态监测。

3 结论

采用实测光谱模拟 TM/ETM+ 和 MERIS 数据, 在对比分析单波段和波段比值遥感因子构建的 5 种常用的经验/半经验模型的基础上, 结合传感器本身的特点, 发现以 R_{MERIS07} 波段遥感反射率为遥感因子建立的对数模型最适宜鄱阳湖地区悬浮泥沙的动态监测。

表 2 TM/ETM+ 与 MERIS 悬浮物浓度反演模型

Table 2 Inversion model of suspended sediments for TM/ETM+ and MERIS

传感器	模型类型	遥感因子	拟合模型方程	R^2	MRE
TM/ETM+	线性	R_{TM4}	$R=0.0001211+0.0002847SS$	0.962 3	0.153 4
	对数	R_{TM3}	$R=-0.0287+0.0202\ln SS$	0.982 6	0.121 6
	幂指数	$R_{\text{TM2}}/R_{\text{TM3}}$	$R=-0.3686+2.3490SS^{-0.1200}$	0.978 6	0.414 4
	Gordon	$R_{\text{TM2}}/R_{\text{TM3}}$	$R=\frac{67.8595+0.8597SS}{42.6012+1.1675SS}$	0.971 5	0.458 6
	负指数	$R_{\text{TM2}}/R_{\text{TM3}}$	$R=0.9072+0.6545e^{-0.0263SS}$	0.980 1	0.685 2
MERIS	线性	R_{MERIS12}	$R=0.0010+0.0003SS$	0.976 5	0.164 4
	对数	R_{MERIS07}	$R=-0.031+0.0205\ln SS$	0.980 9	0.109 4
	幂指数	R_{MERIS06}	$R=0.1687-0.2096SS^{-0.1531}$	0.972 4	0.166 8
	Gordon	$R_{\text{MERIS06}}/R_{\text{MERIS07}}$	$R=\frac{233.8941-164.119SS}{-1.9089+1.3476SS}$	0.986 9	0.348 7
	负指数	R_{MERIS09}	$R=0.10899-0.0839e^{-0.0098SS}$	0.985 8	0.191 0

注: R 为遥感因子, SS 为悬浮泥沙浓度, R^2 为模型决定系数, MRE 为悬浮泥沙浓度拟合值和实测值之间的平均相对误差。

对鄱阳湖悬浮泥沙的遥感动态监测研究还处于初级阶段,作为一个过水性、吞吐型、季节性湖泊,其水体组成成分中的叶绿素和黄色物质及其时空分布,其他一些自然环境因素的变化,对水体光谱都可能产生很大影响。本文只是研究的初步结果,进一步研究需要增加采样点个数和采样次数,深入分析其水体组成成分,以获得更精确的生化资料和大范围、多季节的光谱数据,以进一步完善模型、提高鄱阳湖悬浮泥沙的遥感监测精度。

参考文献 (References)

- [1] 程天文, 赵楚年. 我国主要河流入海经流量、输沙量及对沿岸的影响[J]. 海洋学报, 1985(4): 460-471.
CHENG Tianwen, ZHAO Chunian. Runoff volumes and sediment discharges of large rivers in China and their influence on the coastal zone [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1985, 7(4): 460-471.
- [2] 席家治. 黄河水资源[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1996.
XI Jiazhi. Water resource of Yellow River [M]. Zhengzhou: Yellow River Publishing House of the Water Resources, 1996.
- [3] 梁志勇, 李文学, 吕文堂, 等. 黄河下游泥沙灾害与减灾对策(I)——泥沙灾害分类与侵蚀型泥沙灾害 [J], 自然灾害学报, 2002, 11: 126-130.
LIANG Zhiyong, LI Wenxue, LU Wentang, *et al.* Sediment disasters and their control strategies in the lower Yellow River categories of sediment disasters and erosion disaster [J]. J Natural Disasters, 2002, 11: 126-130.
- [4] 李英奎, 倪晋仁, 等. 泥沙灾害与泥沙灾害链的分类分级[J]. 自然灾害学报, 2005, 14: 15-24.
LI Yingkui, NI Jinren, *et al.* Classification and gradation of sediment disasters and their chain[J]. J Natural Disasters, 2005, 14: 15-24.
- [5] GITELSON A. Quantitative remote sensing methods for real time monitoring inland waters quality[J]. Int J Remote Sensing, 1993, 14(7): 1269-1295.
- [6] KRITIKOS H, YORINKS L, SMITH H. Suspended solids analysis using ERTS-A data [J]. Remote Sens Environ, 1974, 3: 69-80.
- [7] CARPENTER D J, CARPENTER S M. Modeling inland water quality using LANDSAT data [J]. Remote Sens Environ, 1974, 3:69-80.
- [8] LINDELL T, KARLSSON B. A further development of the chromaticity technique for satellite mapping of suspended sediment load[J]. Photogram Eng Remote Sens, 1986, 52: 1521-1529.
- [9] MOORE G K. Satellite remote sensing of water turbidity [J]. Hyd Sci, 1980, 25: 415-421.
- [10] DEKKER A G, VOS R J, PETERS SWM. Comparison of remote sensing data, model results and in situ data for Total Suspended Matter (TSM) in the southern Frisian lakes[J]. Sci Tot Environ, 2001, 268: 197-214.
- [11] MAHTAB A L, RUNQUIST D C, HAN L H, *et al.* Estimation of suspended sediment concentration in water using integrated surface reflectance [J]. Geocarto Intern, 1998, 13(2): 11-15.
- [12] WEISBLATIEA E A, ZAITZEFF J B, REEVES C A. Classification of turbidity levels in the Texas marine coastal zone [C].// Proceedings on Machine Processing of Remote Sensing Data. Purdue University, West Lafayette Indiance IEEE Catalo, 1973.
- [13] KLEMAS V, BARTLETT D, PHILPOT W, *et al.* Coastal and estuarine studies with ERTS-1 and Skylab [J]. Remote Sensing of Environment, 1974, 3: 153-74.
- [14] MUNDAY J C, ALFOLDI T T. Landsat test of diffuse reflectance models for aquatic suspended solids measurement[J]. Remote Sens Environ, 1979, 8: 169-183.
- [15] 李京. 利用 NOAA 卫星的 AVHRR 数据监测杭州湾海域的悬浮泥沙含量[J]. 海洋学报, 1987, 9 (1): 132-135.
LI Jing. Monitoring suspended sediment concentration in Hangzhou bay using NOAA AVHRR data [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1987, 9(1): 132-135.
- [16] 陈晓玲, 袁中智, 李毓湘, 等. 基于遥感反演结果的悬浮泥沙时空动态规律研究——以珠江河口及邻近海域为例. 武汉大学学报(信息版), 2005, 30(8): 677-681.
CHEN Xiaoling, YUAN Zhongzhi, LI Yuxia, *et al.* Spatial and temporal dynamics of suspended sediment concentration in the Pearl River Estuary based on remote sensing [J]. Geometrics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(8): 677-681.
- [17] 刘信中, 叶居新, 等. 江西湿地[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
LIU Xinzong, YE Juxin, *et al.* Wetland in Jiangxi Province[M]. Beijing: China Forestry Press, 2000.
- [18] 张本. 鄱阳湖一些水文特征和整治战略[J]. 长江流域资源与环境, 1993, 2(1): 36-42.
ZHANG Ben. The hydrological features and the renovative strategy of the Poyang Lake[J]. Resources and Environment in the Yangtze Valley, 1993, 2(2): 36-42.
- [19] MOBLEY C D. Estimation of the remote sensing reflectance from above surface measurements [J]. Applied Optics, 1999, 38: 7442-7455.
- [20] FARGION G S, MUELLER J L. Ocean optics protocols for satellite ocean color sensor validation[R]. Revision 3. NASA/TM22002221004, 2002.
- [21] 唐军武, 田国良, 汪小勇. 水体光谱测量与分析 I: 水面以上测量法[J]. 遥感学报, 2004, 8(1): 37-45.
TANG Junwu, TIAN Guoliang, WANG Xiaoyong, *et al.* The methods of water spectra measurement and analysis I: Above-Water method [J]. Journal of Remote Sensing, 2004,8(1): 37-45.
- [22] JOUNI P, KARI K. Asemi-operative approach to lake water quality retrieval from remote sensing data [J]. Science Tot Environ, 2001, 268: 79-93.

(责任编辑 岳臣)