

文章编号: 0559-9350(2007)07-0799-07

## 河口水体泥沙浓度的水面光谱统计模式分析

刘志国, 周云轩, 沈 芳

(华东师范大学 河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 现场测量长江口 II 类水体的反射高光谱, 并同步获取水样、测量流速, 在实验室中对所获水样的泥沙浓度进行测定。通过对试验数据的分析发现, 水体反射光谱随泥沙浓度不同而发生变化, 在黄绿光波段(560~720nm)和近红外波段(810nm)出现两个明显的反射峰。波长大于 650nm 光谱反射率和表层泥沙浓度的相关性较好, 特别在 690~900nm 波段两者的相关系数大于 0.75, 对泥沙浓度变化较为敏感。基于最小二乘法, 建立了单波段反射率与泥沙浓度关系以及波段反射率比值与泥沙浓度关系的回归方程。结果表明, 670nm 和 715nm 处单波段反射率的指数方程相关系数较高, 而基于 810/690 波段反射率比值的二次多项式拟合方程对泥沙浓度的预测精度好于其它比值组合形式的模型。

关键词: 长江口; II 类水体; 悬浮泥沙浓度; 高光谱; 遥感; 反射率测量

中图分类号: P717

文献标识码: A

海洋遥感通过对遥感影像的分析, 可以获得海洋水体中所含物质(悬浮泥沙和有机质等)的浓度要素, 为水利、环境和资源管理等提供服务。根据所含物质的成分, 海洋遥感研究把海水分为两大类<sup>[1,2]</sup>: 第一类是以浮游植物及其伴生物为主的大洋水体, 称为 I 类水体(Case 1 Waters); 第二类是含有较高的悬浮物和营养物质的近海混浊水体, 称为 II 类水体(Case 2 Waters)。我国近海水体属于典型的 II 类水体, 因此悬浮泥沙浓度(Suspended Sediment Concentration, SSC)是遥感反演的一个重要内容。

水体的光谱测量及特征分析是水色遥感中悬浮泥沙反演机理研究的核心手段之一。近距离的观测可以尽量减少大气传输的影响, 从而客观描述并建立光谱参量与目标物理量的定量关系。目前, 有关近海 II 类水体光谱的研究包括光谱测量方法、光谱规律分析与定量模型分析等内容<sup>[3]</sup>, 随着遥感和光谱技术的发展, 在黄河口<sup>[4]</sup>、珠江口<sup>[5]</sup>和长江口<sup>[6]</sup>开展了大量有关水体泥沙浓度的遥感监测研究。陈涛等<sup>[7]</sup>和韩震等<sup>[8]</sup>通过浓度配比实验, 建立了泥沙浓度与水体光谱的统计模式。但是, 近海 II 类水体泥沙浓度的遥感反演算法存在区域局限性, 没有 I 类水体算法成熟。分析不同水文泥沙条件下的水体光谱规律, 挖掘高光谱信息, 有助于完善近海 II 类水体泥沙浓度的遥感反演算法。

本文介绍在长江口开展的现场水体光谱测量, 分析不同泥沙浓度的光谱规律。在此基础上, 选择对应于常用卫星遥感的可见光、近红外通道, 并且反射率与泥沙浓度相关性较高的波段, 分别建立单波段反射率与泥沙浓度、反射率波段比值与泥沙浓度的不同形式回归方程。

## 1 试验背景

长江口水体含沙量高, 多年平均入海泥沙量为  $4.37 \times 10^8 \text{ t/年}$ 。长江口概况见图 1, 每年大量泥沙主要经南支向东南沿海输移, 其中约 60% 在河口至东经  $123^\circ$  之间扩散。根据水文观测, 长江口表层泥沙浓度为  $0.061 \sim 0.836 \text{ kg/m}^3$ , 而杭州湾泥沙浓度更高<sup>[9]</sup>。近年来, 受到上游水利工程、水土保持和沿线调

收稿日期: 2007-01-04

基金项目: 国家 973 项目(2002 CB412403); 上海市科委滩涂项目(04DZ12049)

作者简介: 刘志国(1978-), 男, 山东费县人, 博士生, 主要从事海岸带环境遥感研究。E-mail: liuzhiguocn@163.com

水工程等影响,长江入海径流量和入海泥沙量呈明显下降的趋势。随着河口区促淤围垦、河道治理等工程的开展<sup>[10,11]</sup>,长江口悬浮泥沙浓度的监测分析显得极为重要。现在遥感技术常被用来反演水体的悬浮泥沙浓度<sup>[12,13]</sup>。

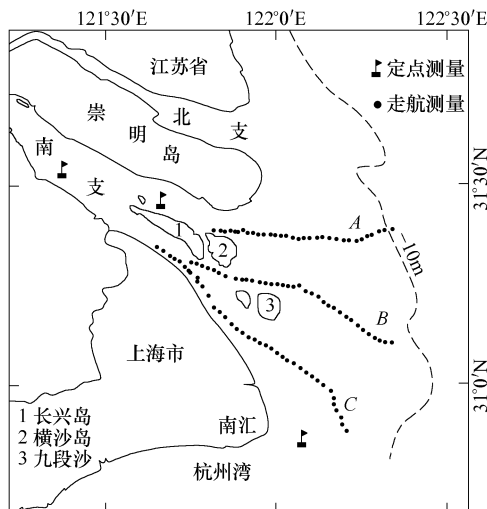


图1 长江口概况与水上光谱测量站点分布

为分析长江口泥沙浓度状况及其对水体光谱特征的影响,分别在2004年9月、2005年8月和2006年8月21~26日,对长江口主要水沙通道进行定点连续观测和走航观测(图1)。图1中A、B、C为2006年3条连续观测航线,其中A、B两条重复2004年走航路线。2005年8月进行的定点站位,主要分布在南支、南北港分流口和南汇边滩附近。

## 2 研究方法

2.1 水体光谱测量规范 水面以上辐射测量受多种因素影响,仪器接收的水体辐射量可用下式表示

$$L_{sea}(\lambda, \phi, \theta) = L_w(\lambda, \phi, \theta) + rL_{sky}(\lambda, \phi, \theta) + \Delta L \quad (1)$$

式中: $\phi$ 为观测平面与太阳入射平面夹角; $\theta$ 为仪器与水面法线夹角; $L_{sea}$ 为光谱仪测量的总辐射亮度; $L_w$ 为离水辐射亮度; $r$ 为气-水界面对天空光的菲涅尔反射系数; $L_{sky}$ 为天空散射光的辐射; $\Delta L$ 为海浪破碎和镜面反射产生的影响。

现场测量角度对光谱数据质量有很大影响。参考NASA水体光谱测量规范<sup>[14]</sup>和唐军武等<sup>[15]</sup>提出的水面以上光谱测量方法,现场水体光谱测量的几何关系如图2所示,太阳入射平面、观测平面分别与水面垂直,两平面夹角为 $\phi$ , $45^\circ < \phi < 90^\circ$ ;光谱仪探头在太阳光入射方向的侧后方,与水面法线保持一定的角度 $\theta$ ,即 $30^\circ < \theta < 45^\circ$ 。这种设置可以尽量避免太阳直射反射,降低水面波动和船舶摇摆等造成的影响。

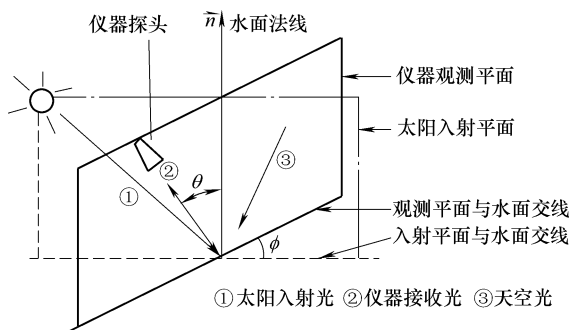


图2 现场水体光谱测量的几何关系

2.2 现场光谱测量 利用 ASD 公司的 Field Spec Pro 便携式地物光谱仪测量水体反射率光谱。光谱仪的波段范围 350~2 500nm, 其中 350~1 000nm 和 1 000~2 500nm 光谱采样间隔分别为 1.4nm 和 2nm。测量时先用漫反射率为 20% 的标准灰板对仪器进行优化和校正, 测量时间过长或天气变化时及时校正。测量时间为 9:30~14:30, 光谱仪探头的全视场角 25°, 探头到水面的垂直距离为 1.5m。仪器积分时间为 100ms, 每组连续采集 10 条记录, 每个站点采集 5 组数据。

在每个测量点, 用横式采水器取表层 0.5m 处的水样, 装入 600mL 水样瓶。在实验室用滤纸过滤、烘干并称重, 根据质量体积法计算样品的泥沙浓度值。与光谱测量同步, 用流速仪测量水体流速。

先对水体高光谱数据进行筛选, 综合水体流速、水面波动、光谱值等要素, 剔除其中异常的光谱记录, 然后对每个站点的有效数据取平均值, 用于统计模式的分析。计算光谱反射率和水体表层泥沙浓度之间的相关系数, 并对高光谱曲线进行一阶微分导数处理。

### 3 试验结果及分析

3.1 水体光谱特征 现场同步取样的表层 (0.5m) 水体泥沙浓度最小值为  $0.028\text{kg}/\text{m}^3$ , 最大值为  $0.995\text{kg}/\text{m}^3$ 。图 3 为水体反射率光谱与表层 (0.5m) 泥沙浓度的关系, 共选取了 11 条对应不同泥沙浓度的反射光谱曲线。

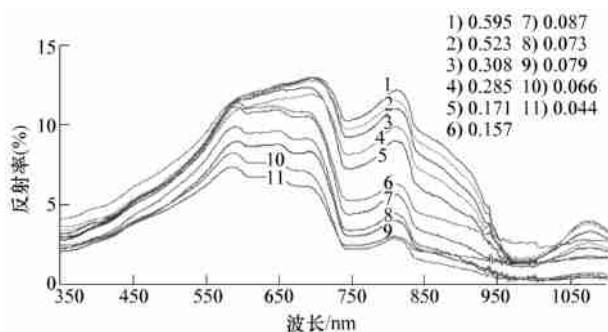


图3 表层(0.5m)不同泥沙浓度水体反射光谱曲线(单位:  $\text{kg}/\text{m}^3$ )

从图 3 可以看出, 反射光谱曲线因水体泥沙浓度不同而存在差异。水体反射率随波长而变化, 可见光的蓝绿波段对太阳光吸收系数较小, 大于 600nm 的近红外波段吸收能力较强, 以吸收过程为主。当水中含有泥沙颗粒时, 水体的反射光谱曲线相应发生变化<sup>[19]</sup>。随着水体悬浮泥沙浓度的加大, 水体反射能力加强, 具有两个较明显的反射峰。波长较短的 350~450nm 范围, 光谱反射率总体较低。泥沙浓度小于  $0.16\text{kg}/\text{m}^3$  的水体的光谱曲线在 560~590nm 范围形成第一个反射峰, 然后持平或缓慢下降; 而泥沙浓度大于  $0.16\text{kg}/\text{m}^3$  的水体反射光谱曲线第一个峰值位于 690~720nm 范围。波长增大, 反射光谱曲线开始整体呈下降趋势, 在水分子吸收过程为主的 750nm 附近, 形成一个反射谷底。第二个反射峰以 810nm 为中心, 这一位置水分子吸收系数较小, 水中泥沙颗粒增加使得水体反射能力增强; 在这个波长范围, 泥沙浓度小于  $0.16\text{kg}/\text{m}^3$  时, 第二反射峰值 (810nm) 明显低于第一个峰 (560~590nm); 而当泥沙浓度大于  $0.16\text{kg}/\text{m}^3$  时, 该峰值反射率迅速增大, 接近相同泥沙浓度的第一反射峰值 (690~720nm)。光谱曲线在波长 850nm 开始下降, 而大于 950nm 的数据受到水汽等干扰, 未用于分析。

3.2 水体光谱对泥沙浓度的响应及其微分导数 水体光谱反射率在不同波长位置对泥沙浓度的响应存在差异。计算各波长的光谱反射率和泥沙浓度的相关系数, 有助于识别出对泥沙浓度变化敏感的波段。其计算公式为

$$r(\lambda) = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y_\lambda - \bar{Y}_\lambda)}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \sum (Y_\lambda - \bar{Y}_\lambda)^2}} \quad (2)$$

式中:  $r(\lambda)$  为波长  $\lambda$  位置上的相关系数;  $Y_\lambda, \bar{Y}_\lambda$  分别为波长  $\lambda$  的光谱反射率及其均值;  $X, \bar{X}$  分别为泥沙浓度及其均值。

高光谱曲线的微分导数可以部分去除测量环境造成的影响,有助于客观分析光谱曲线的形态<sup>[7]</sup>,其计算公式为

$$R'(\lambda_i) = \frac{R(\lambda_{i+1}) - R(\lambda_{i-1})}{\lambda_{i+1} - \lambda_{i-1}} \quad (3)$$

式中: $R'(\lambda_i)$ 为 $\lambda_i$ 波长光谱一阶微分导数; $R(\lambda_{i+1})$ 、 $R(\lambda_{i-1})$ 分别为 $\lambda_{i+1}$ 、 $\lambda_{i-1}$ 波长的光谱反射率。

图4为相关系数曲线和对应不同泥沙浓度的两条光谱一阶导数曲线。从图4中曲线1可以看出,光谱反射率和表层泥沙浓度的相关系数在350~550nm相对较低,而大于650nm的波段,两者相关性较好,相关系数 $R$ 大于0.75,在950nm之后的波段两者相关性下降。

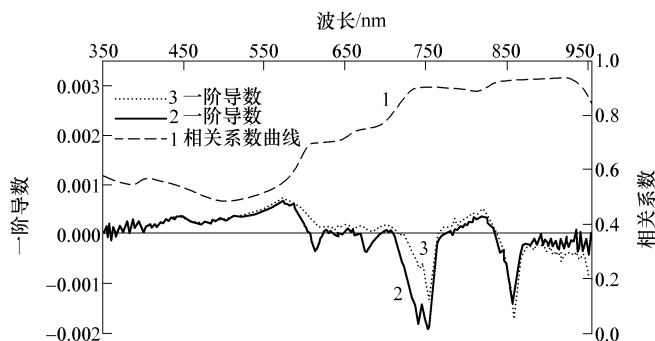


图4 反射率与泥沙浓度相关系数及一阶导数曲线

曲线2和曲线3分别是泥沙浓度为 $0.079 \text{ kg/m}^3$ 和 $0.523 \text{ kg/m}^3$ 的反射光谱一阶导数曲线,两条曲线的形态相似,但又存在差异:一阶导数的正值或负值,分别表示该波段光谱曲线的上升或下降趋势,极大、极小值代表光谱曲线变化最显著的位置,而0值则对应于反射光谱曲线的峰值或谷底。通过一阶导数曲线可以直观分析水体光谱曲线的特征。从一阶导数曲线可以看出,不同泥沙浓度光谱曲线之间的差异:在350~550nm,两条曲线导数值大于0,对应光谱曲线为连续上升的趋势;曲线2在590nm与一阶导数横轴相交,而曲线3与该轴相交的位置在715nm,分别与图3相应泥沙浓度的光谱第一个反射峰位置重合;曲线2和曲线3在810nm同时与横轴相交,对应于光谱曲线的第二个反射峰;两条导数曲线在750nm到达极值后与横轴相交,对应于反射光谱曲线两个反射峰之间的波谷。

**3.3 单波段反射率与泥沙浓度的关系** 水体光谱特征是建立泥沙浓度与光谱信息定量分析模型的基础。由于水体反射能力较低,在统计回归分析中,应尽量选择位于波峰并且反射率与泥沙浓度相关性较高的波段。另外,适当考虑选择的波长与常用卫星可见光和近红外通道具有一定参考性。基于最小二乘法建立了泥沙浓度( $y$ )和单波段反射率( $x$ )的拟合回归方程。表1为指数形式和幂函数形式的回归方程, $R^2$ 值代表回归方程的拟合程度。

表1 泥沙浓度( $y$ )和单波段反射率( $x$ )的非线性回归方程

波长/nm	指数方程	$R^2$	幂函数方程	$R^2$
550	$y = 0.0016e^{43.752x}$	0.7308	$y = 2.241 \cdot 6x^{4.1986}$	0.7088
610	$y = 0.0062e^{33.165x}$	0.8441	$y = 129.06x^{2.8178}$	0.7929
670	$y = 0.0225e^{28.268x}$	0.9199	$y = 16.760x^{1.6461}$	0.8696
700	$y = 0.0199e^{26.45x}$	0.9142	$y = 16.847x^{1.7369}$	0.8555
715	$y = 0.0203e^{26.256x}$	0.9163	$y = 16.108x^{1.7171}$	0.8569
800	$y = 0.0332e^{34.183x}$	0.9031	$y = 12.866x^{1.3201}$	0.8714
810	$y = 0.0340e^{35.96x}$	0.8968	$y = 13.461x^{1.3066}$	0.8679
860	$y = 0.0316e^{31.278x}$	0.9116	$y = 12.540x^{1.3673}$	0.8803

图5为泥沙浓度与715nm处光谱反射率的散点图及指数拟合曲线,图6为715nm波长指数方程和幂函数方程估算泥沙浓度的散点图,点到直线 $y = x$ 的距离反映了预测值和实测值的逼近程度。

回归方程的预测精度可以用均方根误差(RMSE, Root Mean Square Error)评价,公式为

$$RMSE = \sqrt{\sum (x_m - x_p)^2 / N} \quad (4)$$

式中:  $x_m$  为实测值;  $x_p$  为模型预测值;  $N$  为样品数。

用一组没有参与回归分析的实测数据对单波段反射率回归方程进行精度检验。结果如表 2 所示, 单波段指数回归方程对泥沙浓度估算的效果优于幂函数形式; 用 670nm、715nm 和 800nm 波段建立的指数方程比 810nm 和 860nm 波段的指数方程的预测精度高。与常用的卫星可见光、近红外通道相比照, 670nm 和 800nm 分别位于 NOAA AVHRR 的第 1、2 波段, 而 670nm 和 860nm 分别对应于 MODIS 可见光 250m 分辨率的第 1、2 波段以及 Landsat TM 的第 3、4 波段。因此, 基于单波段反射率的泥沙浓度回归分析有助于选择对泥沙浓度敏感波段和构建遥感反演算法。

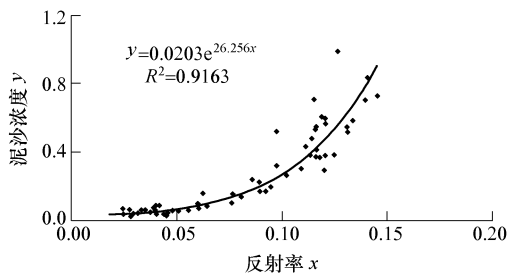


图 5 715nm 反射率与泥沙浓度的指数拟合

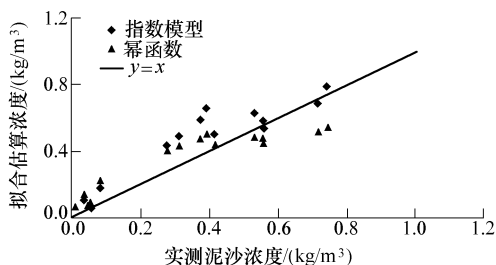


图 6 715nm 回归方程的预测值散点

**3.4 波段比值组合与泥沙浓度的关系** 通过多波段组合进行泥沙浓度反演, 可以更充分利用高光谱遥感的光谱信息。选择对泥沙浓度敏感的波段进行组合, 构建不同形式的泥沙参数, 然后再建立这些参数和泥沙浓度的数学关系<sup>[18 19]</sup>。在光谱统计模式分析研究中, 常采用波段比值的组合形式, 它可以部分消除大气的影响, 去除水面的噪声干扰, 突出目标信息。参考单波段反射率回归方程选择的波段, 组合不同波段间的反射率比值形式, 建立了泥沙浓度和波段比值的拟合方程。

表 3 为泥沙浓度和波段比值的指数回归方程和二次多项式方程, 其中, 用 810/590、810/690、860/670 和  $(670-860)/(670+860)$  波段组合建立的回归方程拟合程度较高。图 7 为 810/690 波段比值的散点图及其二次多项式拟合曲线, 图 8 为该拟合方程的预测散点图。

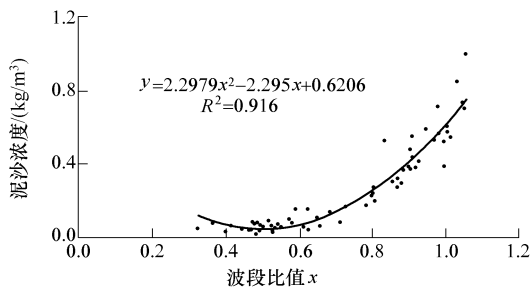


图 7 810/690 比值和泥沙浓度的二次多项式拟合

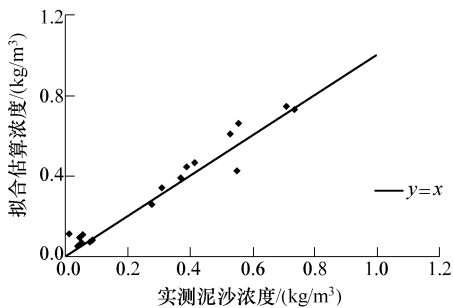


图 8 810/690 二次多项式回归的预测散点

表 2 单波段非线性回归方程的精度检验 ( $N=16$ )

波长 /nm	指数方程	RMSE	幂函数方程	RMSE
670	$y=0.0225e^{28.268x}$	0.117	$y=16.760x^{1.6461}$	0.316
715	$y=0.0203e^{26.256x}$	0.108	$y=16.108x^{1.7171}$	0.241
800	$y=0.0332e^{34.183x}$	0.153	$y=12.866x^{1.3201}$	0.213
810	$y=0.0340e^{35.96x}$	0.217	$y=13.461x^{1.3066}$	0.224
860	$y=0.0316e^{31.278x}$	0.241	$y=12.540x^{1.3673}$	0.303

用同一组检验数据对波段反射率比值组合形式的回归方程进行精度分析。从表 4 中分析结果看出, 用 810/690 波段比值建立的二次多项式方程和指数方程的预测精度最高, 其次是 810/590 比值、860/670 比值, 而  $(670-860)/(670+860)$  组合的二次多项式方程预测精度也相对较高。总体上, 二次多项式方程的预测精度高于相同波段组合形式的指数方程。

表3 波段比值(x)与泥沙浓度值(y)的回归方程

波段组合	指数方程	$R^2$	二次多项式方程	$R^2$
810/490	$y = 0.0381e^{16.002x}$	0.6746	$y = 8.7063x^2 + 1.9827x - 0.0103$	0.7207
810/550	$y = 0.0383e^{15.296x}$	0.6891	$y = 7.6107x^2 + 1.9685x - 0.0126$	0.7372
810/590	$y = 0.0133e^{3.306x}$	0.8916	$y = 1.1898x^2 - 1.0795x + 0.2944$	0.9049
810/690	$y = 0.0061e^{4.5741x}$	0.8909	$y = 2.2979x^2 - 2.2950x + 0.6206$	0.9160
860/670	$y = 0.0202e^{4.2383x}$	0.8882	$y = 1.2099x^2 - 0.3031x + 0.0562$	0.9157
$(670-860)/(670+860)$	$y = 0.878e^{-4.6008x}$	0.8779	$y = 2.2556x^2 - 2.6817x + 0.8435$	0.9131

表4 波段比值的非线性回归精度检验(N=16)

波长 /nm	指数方程	RMSE	二次多项式方程	RMSE
810/490	$y = 0.0381e^{16.002x}$	0.4725	$y = 8.7063x^2 + 1.9827x - 0.0103$	0.4162
810/550	$y = 0.0383e^{15.296x}$	0.4360	$y = 7.6107x^2 + 1.9685x - 0.0126$	0.3816
810/590	$y = 0.0133e^{3.306x}$	0.4129	$y = 1.1898x^2 - 1.0795x + 0.2944$	0.1681
810/690	$y = 0.0061e^{4.5741x}$	0.0604	$y = 2.2979x^2 - 2.2950x + 0.6206$	0.0514
860/670	$y = 0.0202e^{4.2383x}$	0.1812	$y = 1.2099x^2 - 0.3031x + 0.0562$	0.1097
$(670-860)/(670+860)$	$y = 0.878e^{-4.6008x}$	0.2910	$y = 2.2556x^2 - 2.6817x + 0.8435$	0.2143

在上述波段组合中, 810/590 组合对应 Landsat TM4、TM2 比值, 810/690 对应 TM4、TM3 比值, 860/670 和  $(670-860)/(670+860)$  组合方式则对应于 MODIS 第 1、2 波段。这些波段比值参数考虑了卫星通道的设置, 以此建立的统计回归方程对泥沙浓度遥感反演研究具有可参考性。

## 4 结论

通过长江口现场水上光谱测量和统计模式分析, 得到以下结论: (1) 近海水体反射率光谱具有两个明显的反射峰, 较低浓度水体第一个反射峰在 560~590nm, 而高浓度水体的第一个反射峰出现在 690~720nm; 第二个反射峰稳定在 810nm 波长; 大于 650nm 的波段反射率与泥沙浓度的相关性较高, 对泥沙浓度较为敏感; (2) 选择常用卫星遥感可见光、近红外通道范围, 并且泥沙浓度与光谱反射率相关性较高的波段, 基于最小二乘法分别建立了泥沙浓度与单波段反射率和波段比值组合的回归方程。单波段指数方程的预测效果优于幂函数方程, 而波段比值的二次多项式方程精度高于相同波段组合的指数方程。光谱特征和统计回归分析可以加深对近海水体光谱的认识, 有助于通过实测光谱和遥感影像进行水体泥沙浓度的反演。

致谢: 感谢蒋雪中、李占海、贺松林等老师的帮助, 感谢田波、郑宗生、李贵东、张明等参与实验工作。

## 参 考 文 献:

- [1] Sathyendranath S. Remote sensing of ocean colour in coastal and other optically complex waters [A]. Reports of the International Ocean Colour Coordinating Group [C]. No. 3. Dartmouth, Canada, 2000.
- [2] Bowers D G, Evans D, Thomas D N, et al. Interpreting the colour of an estuary [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2004, 59: 13-20.
- [3] 唐军武, 田国良. 水色光谱分析与多成份反演算法 [J]. 遥感学报, 1997, 1(4): 252-256.
- [4] 黄海军, 李成治, 郭建军. 黄河口海域悬沙光谱特征的研究 [J]. 海洋科学, 1994, (5): 40-45.
- [5] 温令平, 伶仃洋悬浮泥沙遥感定量分析 [J]. 水运工程, 2001, 332(9): 9-17.
- [6] He Qing, Yun Caixing, Shi Weirong. Remote sensing analysis of surface suspended sediment concentration in the Changjiang estuary [J]. Progress in Natural Science, 1999, 9(6): 440-446.
- [7] 陈涛, 李武, 吴曙初. 悬浮泥沙浓度与光谱反射率峰值波长红移的相关关系 [J]. 海洋学报, 1994, 16(1): 38-43.
- [8] 韩震, 恽才兴, 蒋雪中. 悬浮泥沙反射光谱特性实验研究 [J]. 水利学报, 2003, (12): 118-122.

- [ 9] 陈沈良, 张国安, 杨世伦, 虞志英. 长江口水域悬沙浓度时空变化与泥沙再悬浮[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 260-266.
- [ 10] 金谔, 黄咏焯. 河口整治技术在长江口深水航道治理工程中的若干进展[J]. 中国港湾建设, 2005, (6): 11-16.
- [ 11] 杨世伦, 朱骏, 赵庆英. 长江供沙量减少对水下三角洲发育影响的初步研究——近期证据分析和未来趋势估计[J]. 海洋学报, 2003, 25(5): 83-91.
- [ 12] 陈鸣, 李士鸿, 刘小靖. 长江口悬浮泥沙遥感信息处理和分析[J]. 水利学报, 1991, (5): 47-51.
- [ 13] 李四海, 恽才兴. 河口表层悬浮泥沙气象卫星遥感定量模式研究[J]. 遥感学报, 2001, 5(2): 154-160.
- [ 14] Fargion G S, Mueller J L. Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation[M]. Revision-4, NASA/TM-2003.
- [ 15] 唐军武, 田国良, 汪小勇, 等. 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): 37-44.
- [ 16] 梅安新, 彭望碌, 秦其明. 遥感概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003. 236-238.
- [ 17] 浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 15-21.
- [ 18] 徐希孺. 遥感物理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005. 273-286.
- [ 19] 李炎, 李京. 基于海面一遥感器光谱反射率斜率传递现象的悬浮泥沙遥感算法[J]. 科学通报, 1999, 44(17): 1892-1898.

## Statistic analysis of suspended sediment concentration in offshore waters based on field measurement of reflectance hyper-spectral

LIU Zhi-guo, ZHOU Yun-xuan, SHEN Fang  
(East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** Remote sensing measurement with field spectrometer was carried to acquire the reflectance hyper-spectral data of the case II waters in the Yangtze River estuary. At the meantime, the surface water samples at depth of 0.5m were bottled for suspended sediment concentration measurement and analyzed in laboratory. The current velocity was also measured synchronically with the spectral measurement. It was found that the reflectance amplitudes vary with the suspended sediment concentration. Two peaks exist in yellow-green (560~720nm) band and near-infrared band (810nm) respectively. At wave length above 650nm a strong correlation exists between spectral reflectance and suspended sediment concentration. In the interval of wave length from 690nm to 900nm the reflectance is sensitive to variation of sediment concentration with correlation coefficient higher than 0.75. Based on the least-square method, the exponential relationship between spectral reflectance and sediment concentration as well as the power function relationship between spectral reflectance ratio and sediment are established. It is found that the exponential relationship for wave length at 670nm and 715nm has higher correlation coefficient. But the quadratic polynomial relationship for spectral reflectance ratio at wave length at 810nm and 690nm has better accuracy for estimation of sediment concentration.

**Key words:** remote sensing; reflectance measurement; hyper-spectral; suspended sediment concentration; case II waters; Yangtze River estuary

(责任编辑: 韩昆)