

黄河口海域悬沙光谱特征的研究*

黄海军¹ 李成治¹ 郭建军²

(¹中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

(²石油勘探研究院遥感地质所 北京 100083)

提要 分析了 57 组含沙水体光谱反射曲线特征,定量描述悬浮水体光谱反射峰值处波长的“红移”现象。在此基础上得出黄河口区野外实测悬浮体含量与光谱反射率呈较好的相关关系,相关系数为 0.89,且在 4 个波段中,MSS7 相关系数最低,MSS6 最高。因而用分段回归或复相关模式来研究悬沙含量,效果较好。文中最后讨论了提高遥感信息-悬沙相关关系精度的方法,提出增加参与回归模型参数的设想,特别是增加悬沙粒度参数。

关键词 悬浮泥沙,黄河口,光谱反射特征

遥感技术是目前获得河口地区及近海水域泥沙分布与扩散的有效方法,对水动力条件复杂,泥沙分布型式多变的区域尤其如此。河口区泥沙及其光谱特征的研究是遥感信息定量研究悬沙分布的基础。本文对 1989 年 8 月野外实测黄河三角洲邻近海域悬沙光谱特征进行初步研究。

1 资料来源

所用悬沙光谱反射率资料是 1989 年 8 月在黄河三角洲邻近海域实测而得。所用仪器为 RS-2 型四通道野外光谱仪,其 4 个通道的光谱范围与陆地卫星中多光谱扫描仪(MSS)4 个波段的光谱范围完全相同。光谱仪视场角 15°,在观测时基本上消除了局部波浪起伏造成的误差和照度变化造成的误差。在实测中取两次结果的平均值。每个光谱测量站均取水样,室内分析其泥沙含量,每个站位的光谱反射率及含沙量值见表 1。

2 黄河河口地区水沙特征

黄河具有水少沙多、水沙异源和水沙时空分布不均的特点。径流量最大年(1964)与最小年(1987)相差近 8 倍,输沙量最多年(1933)为最少年(1987)的 36.7 倍;年内季节变化明显,汛期(7~10 月)径流量和输沙量占全年总量的 60%及 82%(1989 年测),而 12 月~2 月仅为 10.6%及 1.8%^[1]。

利津水文站可代表黄河进入河口区泥沙的状况。黄河进入河口区的泥沙主要为小于 0.025mm 的粉砂粘土物质,汛期细粒物质尤其为多。排泄入海的泥沙占总来沙的 71.8%,其中细泥沙占 44.3%。河口附近海域的悬浮泥沙大都为细粒泥沙,粒径下限在 $4.2\sim 7\phi$ 之间,比其他三角洲物质偏细(长江为 3.5ϕ ,珠江为 3.0ϕ)。

黄河口区泥沙分布等值线由河口向东南方向伸出,在河口北侧及南侧均有泥沙含量低值

* 国家自然科学基金资助项目第 48970270 号。

收稿日期 1994 年 2 月

区,泥沙季节变化明显。

3 含沙水体的光谱特征

3.1 悬沙水体最佳工作波段的选择

收集了从清水到混浊水的 57 组数据,对每种水体,在其光谱反射曲线上读取最高反射率、波长值及泥沙含量(表 2)。计算泥沙含量与波长值之间的相关关系,回归分析结果如下:

$$Y=0.36+0.113X$$
$$R=0.9, N=55 \quad (1)$$

式中 Y 为光谱反射峰值处波长值; X 为悬沙含量对数值; R 为相关系数; N 为样本数。

从(1)式中可知,两者呈良好的线性关系,河口区不同泥沙光谱反射率曲线也说明这一波段的“红移”现象(图 1)。Ferry C. Ritchie 等的研究^[3]也表明了反射峰值波长的红移现象明显(图 2)。

黄河口海域泥沙光谱反射率在 $0.6\mu\text{m}$ 处出现峰值,该峰值在 $0.9\mu\text{m}$ 附近消失(图 2),故“红移”现象在 $0.9\mu\text{m}$ 附近中止,因此,研究悬浮泥沙变化的最佳波段在 $0.6\sim 0.9\mu\text{m}$ 之间。

研究悬沙含量变化幅度较大的水体时,工作波段不应只选一个:在含沙量较低的区域选用 TM3 或 MSS5;在含沙量较高的区域选用 TM4 或 MSS6。最佳工作波段在不同地区应有不同的选择。

3.2 悬沙含量与光谱反射率

对河口海区表层实测泥沙含量值取对数(y),然后与 4 个通道的光谱反射率(表 1)作复相关分析,得出相关系数矩阵(表 3)。从表中可知,MSS6(波长区间为 $0.7\sim 0.8\mu\text{m}$)的光谱反射率与悬沙信息相关程度最高,相关系数为 0.89,其回归方程式为:

$$Y=0.89+0.61X_3$$
$$R=0.89 \quad N=50 \quad (2)$$

式中 X_3 为 MSS6 波段光谱反射率, R 和 N 同(1)式。

泥沙含量对数值与 4 个波段光谱反射率

(X_1, X_2, X_3, X_4)的复相关系数为 0.9,其回归方程式为:

$$Y=0.88+0.006X_1-0.004X_2$$
$$+0.0061X_3+0.0004X_4 \quad (3)$$

从上述可知,黄河口海域水体中悬沙信息主要包括在 6 波段中,即用 MSS6 最为有效,其次为 MSS5。此外含沙水体光谱反射率随含沙量的增加而增加,两者呈明显的线性相关。

John G. Lyon 等(1988)在 Sandusky 湾的研究表明,悬沙浓度与 MSS5 波段呈线性相关,相关系数为 0.72,而用 MSS5.6 波段时,复相关系数增至 0.9^[4]。Jerry C. Ritchie 等(1976)对密西西比州北部 6 个湖泊的光谱反射率研究表明:在太阳高度角小于 40° 时,悬沙含量与光谱反射率在波长 625nm 、 725nm 、 800nm 处均呈良好的线性关系,相关系数在 $0.87\sim 0.96$ 之间,其中以 725nm 最高;MSS 波段的光谱反射率与悬沙含量的相关系数为 $0.73\sim 0.86$,其中以 6 波段最高,泥沙含量最高为 360mg/L ^[5]。由此可以说明在不同的研究海域,由于悬浮体浓度的变化,可以选用不同的研究波段。

4 问题讨论

4.1 悬沙水体光谱反射峰值随含沙量的增加,“红移”现象明显,因而,在含沙量变幅大的地区,可用分段回归或复相关分析来定量研究含沙量的光谱反射特征。在本区,悬沙含量高的海区,悬沙信息与 TM4、MSS6 波段相关程度高,而在悬沙含量低的区域,宜用 TM3 或 MSS5 波段。

4.2 以往的同类研究表明,某一地区遥感信息泥沙含量的定量模型,其推广性较差,甚至在同一地区的不同季节误差也较大。水体的光谱反射能量是水体中所有物质反射的综合体,而不仅仅是泥沙颗粒数的函数,即使颗粒数相同,也会由于颗粒的大小、形状及组成成分的差异而有光谱反射变化。由此可知,在遥感信息-泥沙含量的模型中应加入泥沙颗粒特征因素。

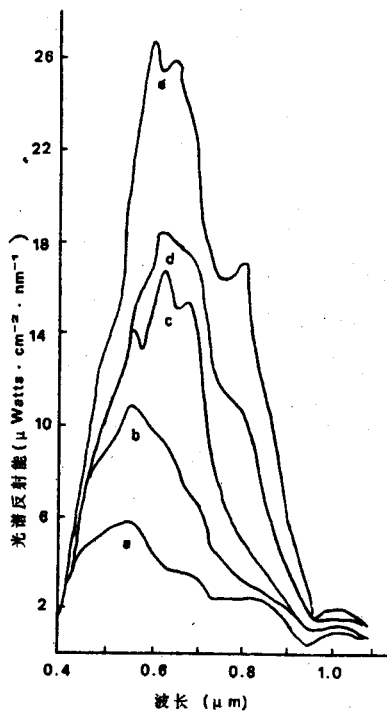


图1 不同含沙量水体光谱反射曲线

Fig. 1 The spectral reflectance of water with different suspended sediment content (from Jerry C. Ritchie *et al*)

a. 30; b. 60; c. 120; d. 240; e. 320 (mg/L)

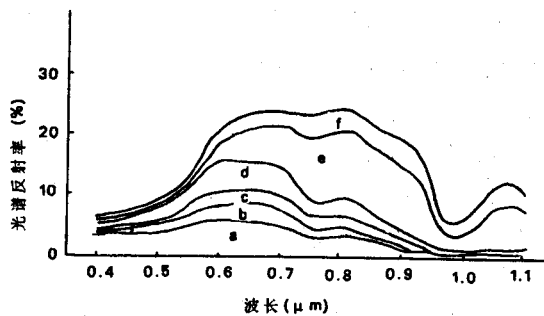


图2 黄河悬沙水体光谱反射曲线

Fig. 2 The spectral reflectance of suspended sediment water in the yellow River

a. 130; b. 298; c. 481; d. 960; e. 2012; f. 4764; (mg/L)

同时,水体中的其它物质(如叶绿素)含量,研究区的地理环境因素(如地形、水文条件、天气条件)也应加以考虑,尤其在泥沙含量较小的地

区。

根据辐射在水中传输特征,考虑到含沙量 S 在垂向分布上不均匀的情况,解辐射传输方程得出,在水和水中黄色物质吸收很弱的波段上,含沙水体的光谱反射率 R 与悬浮泥沙的体积含沙量 S 、粒径 d 及传感器工作波段的透视深度 h 的关系为:

$$R = A + B(1 - e^{-k \cdot \frac{S(z)}{d} dz}) \quad (4)$$

其中 A, B, k 为无量纲常数, z 为水深, d 为泥沙颗粒粒径。

据恽才兴等^[3]的实验表明,不同粒径的泥沙具有明显可区分的反射率曲线,其差异主要在于反射能量的大小上,同时也影响泥沙浓度与其反射率之间相关关系的敏感区段,就 TM3、TM4 而言,粒径小于 0.005mm 的粘土随着含沙量增加,其光谱反射率增加很快;在 TM3 波段,当泥沙含量在 300~500mg/L 之间时,它与光谱反射率基本上呈线性相关。粒径为 0.063~0.005mm 时,泥沙含量在 200mg/L 以内两者之间的相关关系明显。

由此可见,在悬浮泥沙的遥感定量研究中,增加泥沙的粒度参数对提高该类模型的精度、增加其应用范围及进行不同区域的对比等方面作用较大。

4.3 水体悬沙光谱反射特征的研究为遥感定量泥沙研究的基础,目的是用卫星遥感信息来定量研究泥沙的分布、扩散。两者之间的主要差别是增加了大气的干扰,水体中悬沙含量与遥感信息之间的相关系数较低。

作者利用此次调查资料与该区准同步卫星资料信息进行的相关分析表明,本区的遥感信息悬沙含量研究中以 TM4 为佳,或取 TM3、TM4 复相关,以至分段回归,但相关系数比前述的要低些。误差检验表明,用 TM4 作相关分析时,总体的相对误差为 39%,用 TM3 时,该值达 50%。产生误差的原因主要是大气干扰,此外还有泥沙颗粒的成分和形状,入射光的波长和角度(太阳高度角),水体中泥沙以外的物质以及地理环境(如地形、海域河口的开阔度)

与水文条件等。这些都有待进一步研究。

表 1 1989 年 8 月观测样品光谱反射率与水体含沙量对数值表

Tab. 1 The spectral reflectance and the logarithm value of suspended sediment content in waters(1989. 8)

编号	光谱反射率(%)				含沙量(mg/L)
	ch1	ch3	ch2	ch4	对数值
1	9.73	14.21	11.97	13.30	1.39
3	7.86	1.01	5.99	8.10	1.18
5	9.22	11.14	7.89	9.57	1.44
7	12.41	10.66	8.84	7.73	1.34
9	8.21	11.32	6.36	9.64	1.28
11	11.86	14.78	10.25	8.56	1.28
13	10.17	11.77	10.50	13.54	1.42
15	9.69	12.01	7.30	9.01	1.23
17	9.16	12.03	7.92	6.63	1.32
19	11.53	10.72	10.81	11.85	1.89
21	3.99	3.41	16.34	2.50	1.91
23	9.05	11.37	8.09	6.92	1.40
25	13.36	19.88	16.98	10.34	2.00
27	11.97	14.96	13.30	12.16	1.57
29	16.83	14.91	16.78	12.99	1.81
31	6.28	8.92	6.39	7.67	1.23
33	7.92	9.39	10.23	5.67	1.23
35	7.53	9.62	4.94	4.19	1.32
37	7.86	10.68	7.69	7.75	1.53
39	6.86	9.83	10.70	12.82	1.59
41	12.50	17.90	22.97	18.65	2.67
43	4.55	5.39	2.74	6.12	2.91

注: ch₁, ..., ch₄ 为第 1...4 通道。

表 2 不同含沙量水体光谱反射率及其峰值波长

Tab. 2 The maximum spectral reflectance and its wave length in various suspended sediment content

a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
1	17.4	1.24	2.6	4.4	30	93.3	1.97	/	5.95
3	10	1.0	/	4.25	32	144.5	2.16	9	6.0
5	489.8	2.69	9	6.05	34	87.1	1.94	5.5	5.6
7	128.8	2.11	6	6.0	36	85.1	1.93	6	5.5
9	4786.3	3.68	24	7.35	38	81.3	1.91	5.5	5.75
11	776.2	2.89	16	6.55	40	61.7	1.79	7	5.15
13	7079.5	3.85	25	8.0	42	45.7	1.66	9.5	5.5
15	295.1	2.47	8.5	6.25	44	218.8	2.34	7.5	6.25
17	478.6	2.68	11	6.4	46	49.0	1.69	6	5.75
19	125.9	2.1	11	6.35	48	288.4	2.46	10	6.6
21	120.2	2.08	9.5	6.1	50	144.5	2.16	9	6.35
23	251.2	2.4	14.5	6.25	52	38.0	1.58	5	5.0
25	120.2	2.08	9.5	6.25	54	550.0	2.74	11	7.15
27	138	2.14	5.5	6.0	56	18.6	1.27	4	/
29	109.6	2.04	9.5	6.2					

注: a: 序号; b: 含沙量(mg/L); c: 含沙量对数值; d: 反射率; e: 反射峰值处波长(μm)。

表 3 光谱反射率与悬沙含量对数值相关系数矩阵

Tab. 3 The correlation coefficient matrix of spectral reflectance and its logarithmic value of suspended sediment content

	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7	Y
MSS4	1				
MSS5	0.33	1			
MSS6	0.67	0.71	1		
MSS7	0.4	0.41	0.5	1	
Y	0.61	0.63	0.89	0.47	1

注: 为对称矩阵。

参考文献

- [1] 任美镔等, 1986. 地理科学 6(1): 1~12.
- [2] 姜达权, 1980. 中国第四纪研究 5(1).
- [3] 辉才兴等, 1981. 遥感文集, 99-109 页. 科学出版社.
- [4] John G. Lyon et al., 1988. Remote Sensing of Environment 25: 107-115.
- [5] Jerry C. Ritchie et al., 1976. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 42(12): 1539-1545.

A STUDY ON THE SPECTRAL FEATURE OF SUSPENDED MATTER IN THE HUANGHE RIVER DELTA AREA

Huang Haijun¹, Li Chengzhi¹ and Guo Jianjun²

(¹Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science Qingdao 266071)

(²Institute of Geological Remote Sensing Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and development Beijing, 100083)

Received: Feb. 1992

Key Words: Remote sensing-suspended matter model, Suspended matter diffusion, Huanghe River Estuary

Abstract

The 57 spectral reflectance curves of suspended matter waters whose contents range from 10 mg/l to 7079.5 mg/l are analysed.

The result is that the logarithm value of the suspended matter content in waters has high relationship with the wave length in the maximum reflectance, and the correlation coefficient is 0.9. The suspended matters content also has high correlation coefficient with its spectral reflectance.

The spectral reflectance of suspended matter waters in the Huanghe River Estuary were surveyed in 1984 and 1989. They gave the same results, and its correlation coefficient is 0.89, similar to those for the Yangzijing River Estuary, the Pearl River Estuary, the Minjing River Estuary and some lakes in Japan.