

海洋水体中悬浮泥砂含量与 海洋光谱的关系

严晓海 罗霞芬

(中国科学院上海技术物理研究所)

摘要——本文报道悬浮泥砂的东海海水海洋光谱特性的测量结果。运用微处理机对光谱数据进行了分析。讨论了数据处理的方法和结果。最后对海洋水体中悬浮泥砂含量与海洋光谱的关系提出了若干看法。

一、引 言

目前,国内对海洋的悬浮泥砂含量的观测,一般是用常规仪器在船上采集水样的方法。这样既费时,又耗费人力物力,而且只能取得点滴资料。对船只不能到达的区域便无能为力。

近十余年来发展起来的遥感技术,具有观测面积大,速度快,效率高,资料连续和同步性好等显著特点。国外通过对浑浊水体的波谱特性研究,在分析水体中悬浮物质的含量及其分布和扩散方面,做了大量工作^{[1][2][3]}。

不同的水质有显著的光谱差异。定性分析水体的性质比较容易。我们试图在定性分析的基础上深入进行定量分析。

在1983年初的一次海洋遥感测试中,我们利用W101型野外光谱辐射计对东海海洋表层水体进行了光谱反射率测定,结合对海上实测站位同步观测数据(悬浮泥砂含量,水色,透明度,盐度,辐射温度等)的分析,用微处理机进行数据处理。根据水体中悬浮微粒具有后向散射的效应,经过数据处理,找到了适合该水域悬浮泥砂浓度遥感遥测的最佳工作波段,和数据处理模式。

二、理 论 背 景

位于海洋上空的传感器所能接受到的信息由三部分组成,即天空散射光、海面反射光和海水中出射光。这三部分光中,与海水中所含物质有关的主要为第三部分光。

海水中出射光即入射到海水中向上散射和经海水衰减的海底反射光之和。入射光经海水折射被各水层选择性吸收后散射,其中一部分为水分子散射。水分子散射属于瑞利散射,散射强度与波长四次方成反比,且只与水体的折射率有关。由于海水的折射率变化不大,一

一般为 1.33~1.34, 这部分散射光可视为常量。另一部分光入射海底, 被海底反射后也射出水面。它与海水深度、海底反射率、海水的衰减系数(其中也包括海水中微粒散射效应)有关。而海水的衰减系数则和海水中微粒的散射系数和吸收系数有关。海水中微粒的散射属于米氏(Mie)散射, 受海水的浑浊度、含砂量、叶绿素以及污染物的影响, 是选择性的散射, 随光波波长变化。海水的吸收系数也随入射光波长变化。运用海水的衰减方程就可算出所选光谱波长的海水穿透深度。沿岸海水的衰减系数在 $0.53\ \mu\text{m}$ 处最小, 海水穿透深度可达 3~4 m, 而橙红光($0.6\sim0.66\ \mu\text{m}$)处, 海水穿透深度只有 1.5~2 m。这次试验的最浅深度为 25 m, 因而, 海底反射光可视为零。又根据克鲁斯特(S. A. Klust)等人的研究, 认为水深大于一个透明度深度时, 底部反射光的能量就低于 1% 而可忽略, 这时可称之为“无穷深水”。二十五米水深处的实测透明度深度为六米, 因此不考虑底部反射的影响是可行的。余下的一部分即为这次试验所需提取的水体中悬浮微粒的后向散射光。能够悬浮于水体中的微粒直径(假想球体的当量直径)大于入射光波长约二个数量级, 一般约为几十微米, 显然属于米氏散射。影响微粒散射强度的因素有微粒数浓度、微粒的种类和形状、粒径分布、微粒的吸收-发射特性以及入射光波长。对于同一种类的微粒分布, 在一定的入射光波长下, 微粒散射强度与微粒数浓度成正比, 因此最佳工作波带一般应选在最能突出悬浮微粒浓度差异的范围, 以使遥感器能获得分辨率较高的信息。同时, 对于同种类的微粒分布, 在一定的数浓度下, 微粒散射强度与辐射波长的 0~2 次方成正比, 即散射强度与辐射波长的相关性不大。由于选择较长的波长, 如红光、近红外, 穿透水体的能力较差, 因此是不适宜的。据以上分析, 我们可以通过海洋水体的光谱测试来选择水体中悬浮微粒散射强度较敏感的辐射波长范围以及找出所选波长范围中悬浮微粒散射强度与微粒数浓度之间存在的关系。

三、实验描述

这次试验所及海区水色范围为水色刻度 1 至 15, 圆盘透明度自 0.2 至 8 m。从海水光学特性看, 具有较多的类型。为消除太阳光不稳定的影响, 我们同时记录照度变化, 供以后用微处理机处理时修正。测量所用 W101 型野外光谱辐射计为光栅分光扫描型, 采用 X-Y 双笔自动记录仪及并联数字式电压表两种方式记录, 光谱范围为 400~1100 nm, 波长记录刻度分辨率为 10 nm。仪器安置在离海面六米高度, 仪器光轴水平, 通过反射镜取景, 视场角为 $3^\circ\times1.6^\circ$, 相当于目标海水面积约为 $31\times17\ \text{cm}^2$ 。交替测定海水和标准板光谱, 同时记录海洋物理学各类参数, 并按标准规范取样。

四、数据处理及结果分析

图 1 为海上测定站位(光二、光三、光四、光八、光九、光十一)光谱反射率曲线。从图我们可以看出: (1)海水光谱反射率随悬浮泥砂含量的增加而增大。(2)光谱反射率随波长而变化, 曲线在 $0.6\sim0.7\ \mu\text{m}$ 范围内有一特征峰。(3)在 $0.7\ \mu\text{m}$ 左右, 不同悬浮泥砂含量的水体, 其光谱反射率变化最大。(4)由于水体在 $0.9\ \mu\text{m}$ 以后对红外吸收强烈, 所以反射率急剧衰减。(5)在小于 $0.6\ \mu\text{m}$ 波段, 由于受水分子瑞利散射效应干扰, 不易确定这一波段光谱反射率和悬浮泥砂含量间的关系。

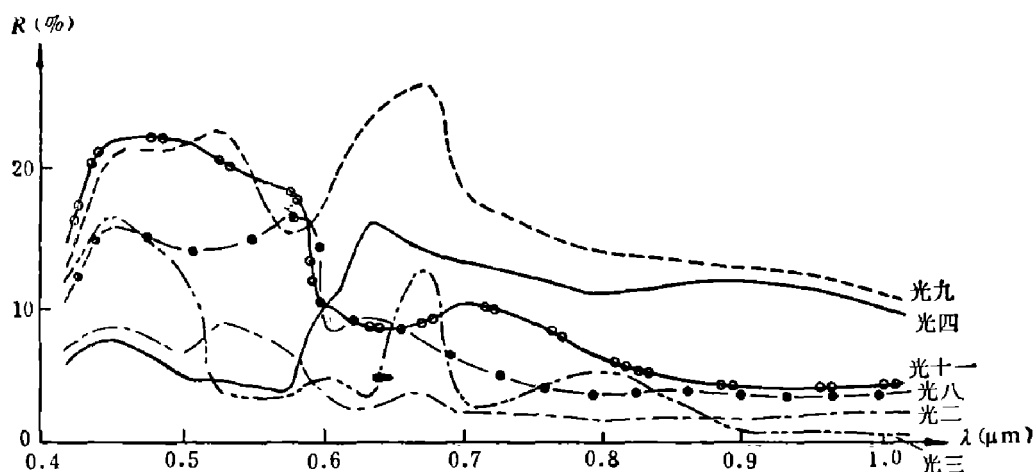


图1 不同泥沙含量的海水光谱曲线

我们用 Cromenco 型微处理机对东海光谱数据进行处理,处理的内容是:

(a) 编排了回归相关分析程序。数据见表1、表2。从单波段回归分析的结果可以看出,尽管相关性不很理想,但能够说明在 $0.6\sim 0.7\mu\text{m}$ 波段,海水光谱反射率与海水中悬浮泥沙浓度有着相对密切的关系。

表1 六个站位的泥沙含量及光谱反射率值

站 位	泥 砂 浓 度 (TTM)	波 长 (μm)											
		0.42	0.45	0.5	0.525	0.575	0.6	0.63	0.67	0.7	0.8	0.9	1.02
光 二	16.21	5.8	8.0	4.8	4.6	4.4	5.2	3.3	12.4	3.1	5.5	1.7	2.0
光 三	12.84	6.8	8.8	6.8	8.9	7.1	3.8	2.7	3.7	2.5	1.8	1.8	1.8
光 四	39.76	14.6	22.0	21.8	20.7	19.0	10.0	16.1	14.0	12.9	10.5	12.0	8.9
光 八	16.67	10.5	15.6	14.2	14.4	16.6	7.6	9.2	7.8	6.2	3.7	3.8	4.3
光 九	41.18	11.7	21.3	21.3	23.0	15.0	17.1	23.8	26.1	18.0	13.7	12.7	10.7
光十一	30.4	12.3	16.7	12.9	3.9	4.1	10.3	8.8	8.8	10.3	6.3	3.8	4.1

表2 各单波段与悬浮泥沙含量回归分析的相关系数

波长(μm)	0.42	0.45	0.5	0.525	0.575	0.6	0.63	0.67	0.7	0.8	0.9	1.02
相关系数	0.05	0.13	0.28	-0.15	-0.33	-0.11	-0.41	0.42	0.43	-0.18	0.06	-0.01

(b) 波段比值处理。我们把相邻的波段反射率数据进行比值处理后再与海水悬浮泥沙含量进行相关分析,结果得到: 反射率比 $R \frac{0.67}{0.7}$ 与泥沙含量的相关系数为 0.78; $R \frac{0.67/0.7}{0.6/0.63}$ 与泥沙含量的相关系数为 0.84, 如果再进行三次、四次比值,则相关系数下降。由此得到初步结论: 在 $0.6\sim 0.7\mu\text{m}$ 波段内,单通道反射率进行二次比值,与海水悬浮泥沙浓度相关关系最好。比值处理的部分数据见表3、表4。其中 $R \frac{0.67}{0.7} / \frac{0.6}{0.63}$ 与泥沙含量相关分析的回归方程为

$$C_{\text{usp}} = 16.12 + 13.22R_{BR},$$

它或许可以用作海水中悬浮泥砂含量的遥感数据的定量分析。这里 C_{susp} 为待测悬浮泥砂含量, R_{BR} 为 $0.6\sim 0.7\mu m$ 中波段反射率的二次比值。

表 3 波段反射率比值数据

站 位	光 谱 反 射 率 比 值					
	$R_{0.42/0.45}$	$R_{0.5/0.525}$	$R_{0.575/0.6}$	$R_{0.63/0.67}$	$R_{0.7/0.8}$	$R_{0.9/1.02}$
光 二	0.74	3.31	0.40	1.0	1.63	0.93
光 三	0.73	1.04	0.85	5.27	0.56	0.85
光 四	0.66	1.0	1.9	1.15	1.23	1.35
光 八	0.55	0.93	0.88	0.91	1.31	1.19
光 九	0.77	0.76	1.87	0.73	1.39	1.0
光 十 一	0.67	0.99	2.18	1.8	1.68	0.88

表 4 波段反射率比值与悬浮泥砂含量的相关系数

比值波段	$R_{0.42/0.45}$	$R_{0.5/0.525}$	$R_{0.575/0.6}$	$R_{0.63/0.67}$	$R_{0.7/0.8}$	$R_{0.9/1.02}$
相关系数	0.14	0.18	-0.39	0.77	-0.45	0.30

(c) 积分处理。积分各波带光谱反射率曲线包络的面积,再对该波段范围取平均,可以算出各波带的平均反射率 \bar{R} ,并建立各波带光谱平均反射率 \bar{R} 与表层水体悬浮泥砂浓度 C_{susp} 的对数关系。其中以 $0.63\sim 0.75\mu m$ 波段的 $\bar{R}-\lg(C_{susp})$ 相关系数最高,为 0.784。由于 $0.63\sim 0.75\mu m$ 波长范围基本上可以与陆地卫星第五波段相对应,因此,陆地卫星第五波段图象对海水悬浮泥砂含量识别比较有效。这一点已被目视判读和模式识别实践所证明。

五、结 语

这次试验中虽然排除了除悬浮微粒以外的各种光辐射的影响,但是在试验中由于各种条件所限,如波浪起伏引起镜面反射;太阳高度角变化等,难以确定其影响。另外,仪器的精度,操作方法,仪器光轴的倾角等也直接影响试验的精度和结果的可靠性。这次试验中,所取的悬浮泥砂含量范围较小,站位数也有限,这些都有待进一步改进。试验有益的结果在于:

(1) 通过选择一定的遥感器及波段来接受海水中悬浮微粒的后向散射能量、遥感海洋水体悬浮泥砂含量是可能的。

(2) 光谱数据处理中回归分析,比值处理,积分处理的方法是可行的。在 $0.6\sim 0.7\mu m$ 波段中,二次比值数据与海水中悬浮泥砂含量的相关关系最好。

致谢——沈学础、王鸿禧同志对本文提出过很有价值的修改意见,作者在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] Clark D. K. et al., *Boundary-Layer Meteorology*, **18** (1980), 3: 287~298.
- [2] Piech K. R. et al., *Photogram. Eng. Rem. Sen.*, **XLIV** (1978), 10: 1303~1310.
- [3] Diehl S. R. et al., *Appl. Opt.*, **18** (1979), 10: 1653~1658.
- [4] Mundy J. C., *Rem. Sen. Environ.* **8** (1979), 2: 169~185.
- [5] Whitlock C. H., *Photogram. Eng. Rem. Sen.*, **VXLIV** (1978), 11: 1405~1410.
- [6] Roland Doerffer, *Boundary-Layer Meteorology*, **18** (1980), 2: 221~232.

THE RELATION BETWEEN THE CONCENTRATION OF SUSPENDED SOLIDS IN SEA WATER AND THE MARINE SPECTRAL CHARACTERISTICS

Yan Xiaohai, Luo Xiafen

(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

Marine spectral characteristics are measured and applied to a preliminary study of suspended solids in the East China Sea. Spectral data are analyzed with a microprocessor. Methods and results of data processing are discussed. The relationship between the concentration of suspended solids in sea water and the marine spectral characteristics is suggested.