

利用细分光谱仪数据 分析水体泥土含量的方法研究

万余庆 张凤丽 闫永忠

(中国煤炭地质总局航测遥感局遥感应用研究院 ,西安 710054)

摘要 :分析了水中泥土含量对水体光谱特征的影响。对利用水体的光谱反射率计算水体中泥土含量的方法进行了分析 ,找出了用于泥土含量计算的最佳波段。该方法对今后利用高光谱遥感图像计算河流和海水中的泥沙含量及估算水土流失量具有一定的参考意义。

关键词 :光谱反射率 ;水体泥土含量 ;相关分析

中图分类号 :O 561.3 文献标识码 :A 文章编号 :1001 - 070X(2002)02 - 0051 - 05

样可以探测其中的泥沙含量 ,计算出水土流失量。

0 引言

随着西部开发和经济发展 ,人们对生态环境的建设和监测也越来越重视。水土流失是主要的生态环境问题。而高光谱遥感技术是当前和今后一段时间内重要的发展方向 ,因此利用高光谱遥感技术进行生态环境监测 ,具有良好的应用前景。为此我们利用细分光谱仪对不同泥沙含量的水体进行光谱测试 ,并对这些数据进行了相关分析 ,总结出水体的光谱特征与其中泥沙含量的关系。可以肯定 ,配合必要的地面同步测试 ,利用航空和航天高光谱图像 ,同

1 实验过程

测试时间 2001 年 4 月 23 日。
仪器 :ASDI 公司生产的 FieldSpec FR 光谱仪 ,光谱仪视场角为 3°。
光源 :原配室内光源。光谱仪的探头和光源固定在被测物的上方 ,保持距离不变 ,为 30cm。
测试过程 :用无色塑料小桶 ,直径为 20 cm ,同时加水 2 kg ,悬浮在盛满水的大塑料桶中。大桶为乳白色 ,直径 50cm ,水深 40cm ,净水。用于实验的

表 1 1 kg 水体中泥土含量的统计结果

统计结果	原始数据	线性预测	线性拟合误差	指数预测	指数拟合误差	原始数据	线性预测	线性拟合误差	指数预测	指数拟合误差
20 个 样本的 相应数据	1.00	1.40	0.40	2.10	1.10	31.05	29.97	1.07	26.45	- 4.59
	3.19	1.97	- 1.21	2.59	- 0.59	37.74	34.38	- 3.35	30.28	- 7.45
	4.89	4.13	- 0.75	4.40	- 0.48	45.54	42.92	- 2.61	37.76	- 7.77
	7.20	7.20	- 0.00	6.98	- 0.22	54.24	49.09	- 5.15	43.22	- 11.02
	10.05	10.36	0.31	9.65	- 0.39	65.55	57.30	- 8.24	50.55	- 14.99
	12.56	19.41	6.85	17.35	4.79	119.26	97.02	- 22.23	87.04	- 32.21
	16.41	17.62	12.13	15.82	- 0.58	173.96	196.37	22.41	186.54	12.58
	20.06	24.31	4.25	21.56	1.49	274.50	274.50	0.00	273.80	- 0.69
	23.74	24.90	1.16	22.06	- 1.67	351.60	360.09	8.49	379.53	27.93
	27.15	29.20	2.04	25.78	- 1.37	500.90	449.52	- 51.37	502.58	1.68

土壤为西安市建筑工地上挖出的黄绵土。在测试过程中 ,用分析天平依次称取一定量的土块 ,放入小桶中 ,用玻璃棒搅散 ,快速搅匀 ,每个样本测试 45 次 ,

求取平均值 ,共计测试了 20 个不同泥土含量水体的光谱反射率(表 1)。

2 分析过程

对每个深度水体的光谱反射率共计测试 45 次 , 对测试的数据求取均值再参与分析。分析方法采用回归分析法 , 包括线性回归分析、指数回归分析和对数回归分析 , 依次对各个波长不同泥土含量水体的回归分析结果做对比分析。由于利用对数回归分析的误差远大于指数和线性分析的误差 , 所以未最终参与分析。为了验证拟合方程的可信度 , 对每一个波段的反射率用预测方程预测其泥土的含量 , 依次

求出预测值与实测值之间的均值误差 , 均值误差 σ_j 计算公式为

$$\sigma_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n | y_{ij} - y_{ijp} | \tag{1}$$

式中 j 代表波段 , n 代表样本数 , y_{ij} 代表 i 样本 j 波段的光谱反射率 , y_{ijp} 代表根据预测公式计算的 i 样本 j 波段的预测值。

表 2 是根据光谱曲线形态的变化 , 选择曲线的起点、终点、拐点及少数异常点 , 统计了它们的相关系数(预测值与实测值的相关系数)、均值误差、线性和指数拟合方程。

表 2 回归分析统计结果

波长/nm	相关系数	均值误差	拟合方程
349	0.239 90	73.265 2	$y = -35.849\ 1 + 2\ 201.46x$
349	0.244 982	74.101 1	$y = 5.337\ 14\exp(55.231\ 5x) - 10.937\ 3$
400	0.219 374	73.225 1	$y = -34.292\ 3 + 1\ 600.00x$
400	0.218 812	74.231 9	$y = 10.433\ 6\exp(30.241\ 0x) - 18.229\ 3$
500	0.176 928	73.329 5	$y = -31.227\ 6 + 788.481x$
500	0.163 638	74.359 7	$y = 17.811\ 5\exp(12.265\ 6x) - 28.619\ 6$
650	0.166 874	73.464 2	$y = -12.741\ 7 + 210.450x$
650	0.131 856	73.936 4	$y = 8.084\ 34\exp(7.641\ 18x) - 13.078\ 5$
800	0.285 701	71.846 8	$y = -12.299\ 5 + 187.898x$
800	0.303 288	2.030 2	$y = 74.343\ 71\exp(7.703\ 32x) - 7.332\ 27$
850	0.353 156	70.856 7	$y = -8.425\ 02 + 172.336x$
850	0.432 906	67.881 3	$y = 2.215\ 32\exp(11.041\ 9x) - 4.415\ 18$
1 000	0.703 689	59.531 8	$y = -34.786\ 4 + 460.665x$
1 000	0.894 184	23.770 0	$y = 0.779\ 345\exp(20.433\ 2x) + 0.926\ 176$
1 200	0.903 407	37.492 4	$y = -33.288\ 7 + 946.607x$
1 200	0.980 793	12.048 2	$y = 16.718\ 5\exp(12.079\ 0x) - 14.962\ 1$
1 276	0.894 725	38.955 9	$y = -35.908\ 2 + 906.961x$
1 276	0.978 309	12.458 5	$y = 14.211\ 3\exp(12.197\ 2x) - 12.401\ 5$
1 381	0.955 158	7.393 82	$y = 0.051\ 923\ 2 + 270\ 1.41x$
1 381	0.996 827	6.858 41	$y = 674.948\exp(3.304\ 64x) - 673.906$
1 441	0.985 621	16.658 0	$y = 4.024\ 46 + 106\ 65.3x$
1 441	0.975 490	22.345 1	$y = 993.796\exp(9.076\ 43x) - 992.369$
1 675	0.995 271	7.230 04	$y = 0.714\ 814 + 2\ 497.88x6.674\ 18$
1 675	0.996 986	6.674 18	$y = 666.082\exp(3.117\ 57x) - 664.468$
1 703	0.995 532	7.150 95	$y = 0.903\ 240 + 252\ 3.06x$
1 703	0.997 070	6.709 15	$y = 681.263\exp(3.098\ 80x) - 679.542$
1 924	0.893 657	39.280 4	$y = -15.543\ 0 + 71\ 142.3x$
1 924	0.867 677	47.071 9	$y = 5.250\ 61\exp(639.738x) - 0.708\ 622$
2 186	0.988 824	14.823 9	$y = 6.432\ 19 + 688\ 0.53x$
2 186	0.979 798	21.348 3	$y = 1\ 022.90\exp(5.970\ 21x) - 1\ 022.13$
2 192	0.988 394	15.158 2	$y = 8.948\ 58 + 6\ 852.05x$
2 192	0.979 834	21.544 9	$y = 1\ 020.33\exp(5.997\ 21x) - 1\ 018.72$
2 499	0.832 427	56.197 3	$y = -103.706 + 438\ 49.1x$
2 499	0.824 41	51.666 4	$y = 4.575\ 79\exp(345.713x) - 5.830\ 38$

3 分析结果

由于无法同时清楚地绘制 20 组光谱曲线,只能从中删除部分过密的曲线,如图 1。从 20 组光谱反射率曲线的形态可以发现如下规律:

(1)当水体深度一定时,随着水中泥土含量的增加,光谱反射率逐渐增加^[1],在一些位置上出现特殊变化。当水中泥土含量小于 25g 时,在 3501 350 nm 波段之间的反射率随着水中泥土含量的增加而快速增加,尤其是在 6.38 g/2 kg~14.41g/2 kg 时,反射率的增长最快(图 2)。

(2)当泥土含量超过 40 g 之后,虽然泥土含量成倍增长,但是光谱反射率的增长变得越来越慢,尤其是波长在 3501 150 nm 之间。当泥土含量超过 347.92 g 时,随着泥土含量的增加,反射率反而降低。此时,在该波段内水体的反射率不能有效地反映水体中泥土的含量。

(3)图 3 为与图 1 同等光照条件下的光谱曲线,比较图 1 和图 3 发现,泥土含量从 2.0g/2 kg 开始,随着泥土含量增加,在 700800 nm 波段之间,水体特有的光谱吸收特征逐渐减弱,而在此波长内土壤吸收特征逐渐显示出来,并且在 1 5001 850 nm 和 2 0002 450 nm 波段之间出现两个反射峰,这两个反射峰与泥土含量密切相关,呈现出水体光谱反射率随着泥土含量增加而有规则增加。

(4)图 4 反映了所有波段的指数和线性拟合分

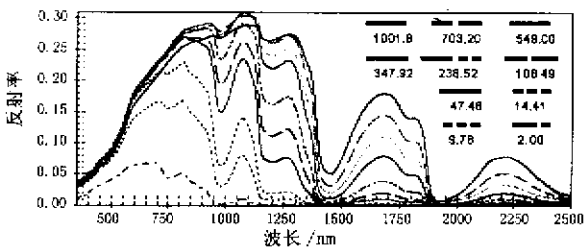


图 1 不同泥土含量水体的光谱曲线

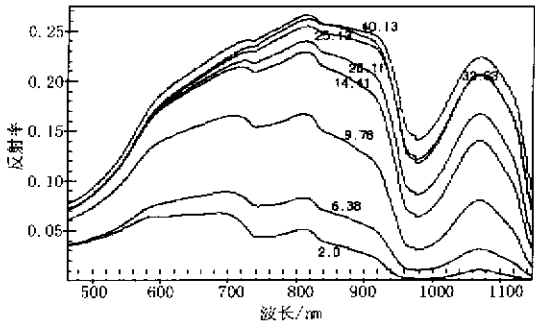
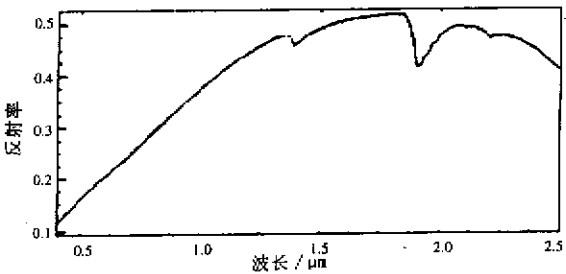


图 2 泥土含量 2.0 g/2 kg~40.13g/2 kg 之间的水体光谱曲线



析过程中线性和指数相关系数、均值误差曲线以及

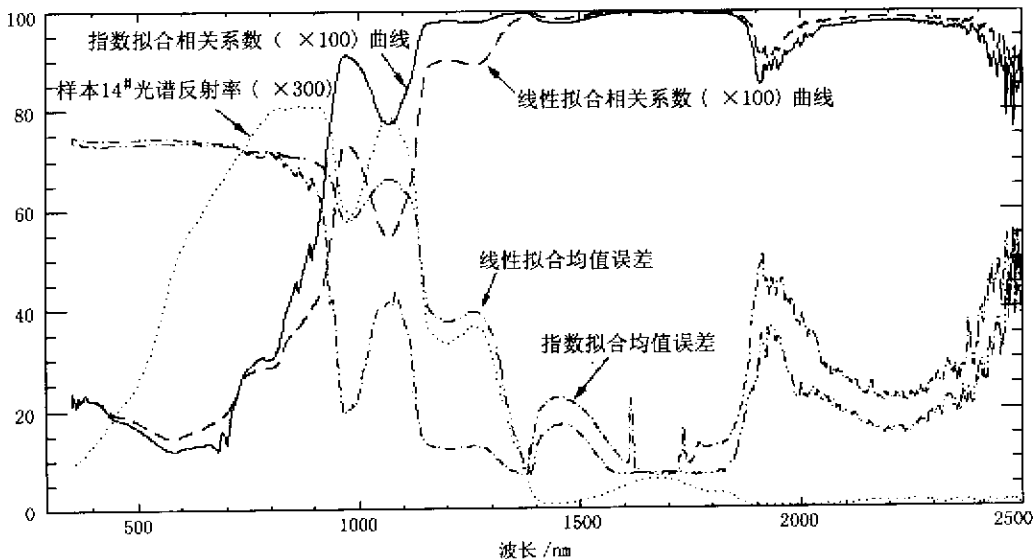


图 4 根据 20 组样本的光谱数据分析获得的各个波段的指数和线性拟合相关系数、误差统计曲线以及泥土含量为 180.49 g 的水体光谱曲线。(为了突出差异,对各个曲线的数值单位进行了不同程度的放大处理,拟合误差保持原样)

样本 14# 的光谱曲线。图 4 表明,从 350 150 nm 之间的光谱反射率不能有效地反映水中泥土的含量,这与图 1 和前述(2)的结论一致。而从 1 150 1 850 nm、以及 2 000 2 400 nm 之间的水体光谱反射率与泥土含量呈现明显的指数关系或线性关系(图 5)。在

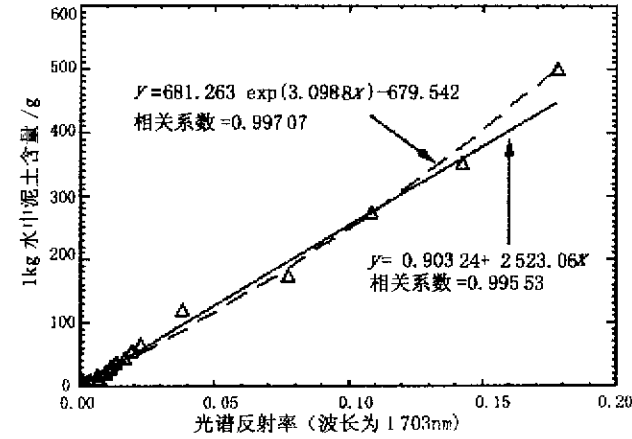


图 5 根据各个样本在波长 1 703 nm 处的光谱反射率拟合得到的指数曲线和直线示意图以及样本泥土含量散点图

这些波长范围内,各个波段位置上的指数拟合和线性拟合的误差仍然存在较大的差异。在波长小于 1 381 nm 的波段范围内,指数拟合比线性拟合的精度高;在波长大于 1 381 nm 的波段范围内,线性拟合比指数拟合精度更高;在 1 703 nm 处的指数拟合精度达到最大值 0.997 0,线性拟合也达到最大值 0.995 1。

(5)对比分析表 2 和图 1、图 4,发现 1 703 nm 和 2 186 nm 分别位于土壤的两个反射率峰值位置,也是拟合分析精度最高、相关性最强的波段,同时也是实验用土壤反射率的最高波段。利用光谱数据进行拟合分析,并且求取土壤中泥土含量的精度时最好选择与 1 703nm 最接近的波段。

(6)表 1 还列出了利用图 5 中的公式计算出各个样本的预测结果和误差。从表 1 可以看出,泥土含量比较低的前 10 个样本,线性预测和指数预测的均值误差依次为 1.768 和 1.29;泥土含量比较高的后 10 个样本,线性预测和指数预测的均值误差依次为 12.40 和 12.09。这说明整体指数预测精度高于线性预测,当水中泥土含量低于 30 g/1 kg 时,两种预测的精度都很高。

4 矿物吸收指数与波深研究试验

如图 6 所示,任一个光谱的吸收特征可由光谱吸收谷 M 和吸收谷上部 S_1 、 S_2 组成,吸收谷 M 到通过

S_1 、 S_2 的切线 $\overline{S_1S_2}$ 的距离 (H) 称为光谱吸收深度, S_2 与 S_1 的波长差 ($\lambda_2 - \lambda_1$) 值被称为吸收波段的宽度 $d^{[2]}$ 。设 S_1 、 S_2 、 S_m 三点的波长分别为 λ_1 、 λ_2 和 λ_m , 对应的真实反射率依次为点 ρ_1 、 ρ_2 和 ρ_m 。根据线性方程,可以得到基线上的点 S_m 的视反射率 ρ'_m

$$\rho'_m = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot \lambda_m - \frac{\rho_1 \cdot \lambda_2 - \rho_2 \cdot \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \quad (2)$$

M 点的光谱吸收指数 (SAI) 可以用式 (3) 表示

$$SAI = \frac{\rho'_m - \rho_m}{\rho_m} \quad (3)$$

对于 λ_1 和 λ_2 之间的各个波长位置,可以用公式 (2) 和 (3) 连续计算获得相应的 SAI 值,从而获得图 7 所示的曲线。图 6 表明,波深和波宽能够描述吸收谷 M 在二维空间的相对大小,代表了地物在某一波长处的吸收强度,而吸收强度是由地物体内决定吸收特征的物质含量或纯度决定的。例如,在图 7 中,上图为不同泥土含量的水体在 1 120 ~ 1 260 nm 处的吸收指数 (左) 和波深 (右),图中吸收指数随着泥土含

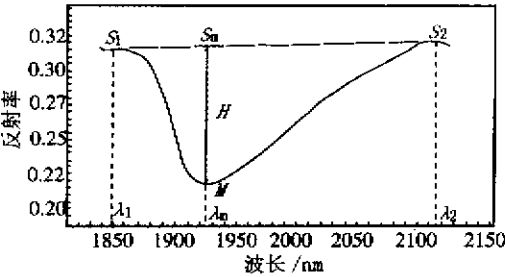


图 6 光谱吸收指数概念图

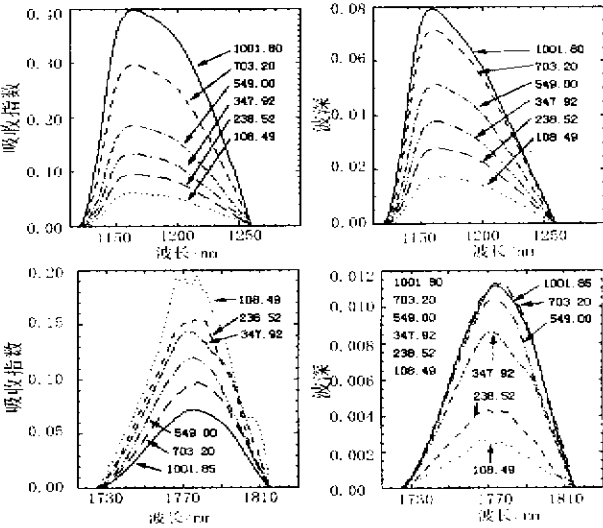


图 7 上图为不同泥土含量的水体在 1 120 1 260 nm 处的吸收指数 (左) 和波深 (右);下图为不同泥土含量的水体在 1 725 1 815 nm 处的吸收指数 (左) 和波深 (右)

量的增加而增加,波深也随之增加。图 7 下图为不同泥土含量的水体在 1 725 1 815 nm 波段区间的吸收

