

航空红外遥感油气资源新方法—— 短波红外分光扫描

吴常泳

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要: 阐述应用红外遥感测油气藏的机理及所用的航空红外扫描仪, 并给出应用试验的结果.

关键词: 油气遥感, 红外扫描仪, 烃类微渗漏.

引言

八十年代以来, 随着遥感传感器水平的提高和计算机图象处理技术的日益完善, 逐渐形成一种应用遥感技术直接寻找油气藏存在“标志”的新方法.

1.5~2.5 μm 短波红外波段是油气藏存在“标志”的光谱特征信息较为丰富的光谱区, 因此, 该波段分光扫描成象技术成为一些技术发达国家竞相研究和应用的重要课题. 1988年起, 我所和中国科学院遥感应用研究所, 中国石油天然气总公司, 新疆石油管理局等单位合作, 开展了这方面的试验研究工作, 为我国在这一技术领域内的工作填补了空白.

1 遥感勘探机理

应用遥感技术直接进行油气资源勘探的机理是: 油气藏上方的烃类微渗漏引起地表物质产生各种“蚀变现象”, 使表层土壤、岩石及地表植物的理化性质和生态特征发生变化, 并表现出地物波谱特征的异常.

油气藏烃类微渗漏蚀变现象以吸附烃异常最为普遍, 把地表吸附烃作为最突出的标志进行探测是遥感扫描技术勘探油气藏微渗漏现象最有效的手段.

在 1.5~2.5 μm 的短波红外波段, 我们对与烃类微渗漏有关的矿物波谱特征进行了分析和研究.

粘土矿物为羟基 (-OH) 与金属铝离子结合而成. 羟基是该波段内最多见的吸收带源, 基键在 2.77 μm 附近发生伸曲振动的谐波在该谱区内吸收峰的准确位置和相对宽度取

决于与金属离子在矿物晶格结构中的配位. 当与金属铝离子结合时, 在 $2.20\mu\text{m}$ 附近有一典型的双吸收带.

碳酸盐矿物亦是烃类渗漏产生的蚀变矿物之一, 典型吸收峰在 $2.35\sim 2.50\mu\text{m}$ 附近.

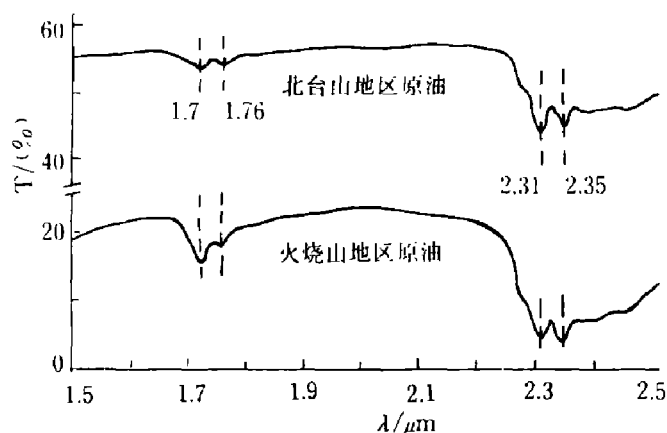


图1 原油的室内透射光谱

Fig. 1 Raw oil transmittance spectrum (indoor)

烃类物质的吸收率可以从两个试验区原油样品的光谱曲线看出(见图1), 烃类在 $1.7\mu\text{m}$, $1.76\mu\text{m}$, $23.1\mu\text{m}$ 附近有非常明显的吸收峰. 其中 $1.70\mu\text{m}$ 和 $1.76\mu\text{m}$ 两个吸收峰均处于大气水分吸收带之中, 遥感手段难以探测. 而 $2.31\mu\text{m}$ 和 $2.35\mu\text{m}$ 两个吸收峰实际上是一个双峰吸收带 $2.27\sim 2.36\mu\text{m}$ 的两个吸收峰, 是 $-\text{CH}_3$, $>\text{CH}_2$ 和 $-\text{CH}$ 基团的倍频与合频振动所致, 它较邻区反射率低 $10\sim 20\%$, 吸收很强, 容易被遥感手段所探测.

根据上述遥感探测机理和在对油气藏烃类微渗漏地表“标志”的典型波谱特征研究的基础上, 我们研制了一种用于油气和地质遥感的机载高光谱分辨率专题扫描仪, 即短波红外分光光谱扫描仪.

2 航空短波红外分光光谱扫描仪

短波红外分光光谱扫描仪是一种用于寻找油气资源的光机扫描型地质遥感仪器, 它在 $1.5\sim 2.5\mu\text{m}$ 的光谱区细分为 12 个工作波段, 各波段的光谱数据设置如表 1 所示.

表1 红外扫描仪的工作波段及相应的烃类蚀变波谱特征

Table 1 Operating spectral bands of the IR scanner and related spectrum of hydrocarbide alteration

光谱通道	中心波长 (μm)	波段带宽 (μm)	蚀变物质波谱吸附特征
1	1.600	0.1	岩性无特征带
2	2.035	0.1	大气峰
3	2.087	0.1	粘土吸收峰
4	2.143	0.1	碳酸盐吸收峰
5	2.200	0.1	粘土吸收峰
6	2.205	0.05	碳酸盐吸收峰
7	2.250	0.05	铁帽氧化带
8	2.275	0.1	烃类吸收峰
9	2.300	0.05	烃类吸收峰
10	2.330	0.05	烃类吸收峰
11	2.370	0.1	碳酸盐吸收峰
12	2.450	0.1	碳酸盐吸收峰

扫描仪的光学系统采用 Kennedy 结构, 用高精度四方棱镜作为扫描部件(见图2). 主

镜通光面积为 64cm^2 , 焦距为 230mm , F 数为 1.34 , 光学瞬时视场为 6mrad . 整个光机扫描头部结构紧凑, 可以按装在小型遥感飞机上.

红外探测器采用 12 元线列 PbS, $D^* = 5 \times 10^{10} \text{cm} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{Hz}^{1/2}$, 各探测元尺寸为 $1.4 \times 1.4 \text{mm}^2$, 排成两排, 每排横向等间隔排列, 相邻元中心间距为 2.8mm , 每个探测元上面复盖相应中心波长的红外窄带滤光片, 实现光电转换和分谱的双重功能. 探测元横向排列引起的各波段分光谱图片的空间错位, 用光电轴角编码器和图象预处理进行校正. 表 2 列出了 PbS 红外探测器的典型参数.

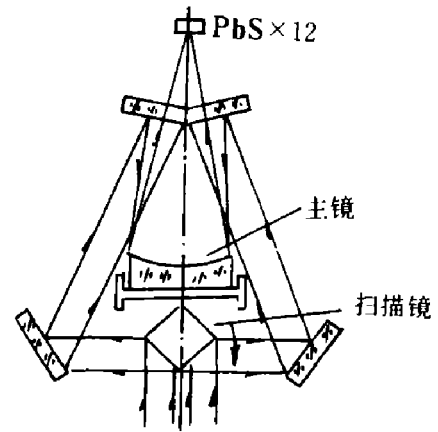


图 2 扫描仪光机原理图
Fig. 2 Optical mechanism of short-wave IR spectral scanner

表 2 PbS 红外探测器的典型参数
Table 2 The typical parameters of PbS

参 数	参数值	参 数	参数值
时间常数 (μs)	200	截止波长 (μm)	3
阻值 ($\text{k}\Omega$)	200~500	峰值波长 (μm)	2.3~2.7
D^* ($\text{cm} \cdot \text{W}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$)	5×10^{10}	光敏元尺寸 (mm)	1.4~1.4

扫描仪 12 个光谱通道获取的机载遥感数据, 经电学处理, 最终按一定格式以数字量输至脱机运行计算机数字磁带机, 实现飞机上实时 CCT 记录. 图 3 为扫描仪数据处理方框图.

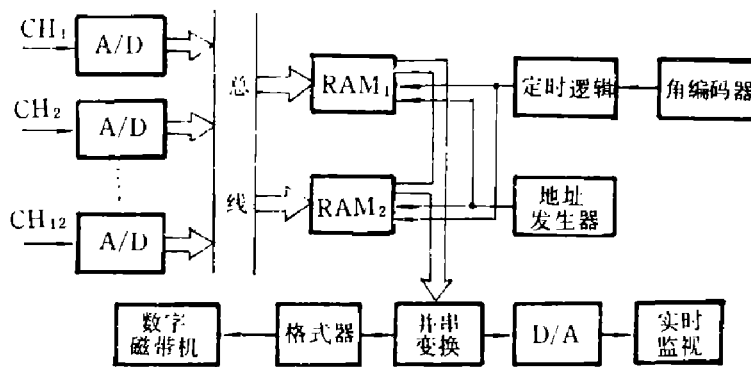


图 3 数据处理方框图
Fig. 3 Block diagram of scanner data processing

当扫描率为 $81/\text{s}$ 时, 12 个通道输出的串行数据为 400KBPS . 因为四方棱镜扫描系统的扫描率为 50% , 为了降低数据速率, 提高磁带机的 CCT 利用率, 我们通过两组由 RAM 组成的缓冲存储器对数据逐行进行交替读写, 写时钟为 4.2kHz , 读时钟为 2.1kHz , 使输出串行数据率降低至 200KBPS , 这样, 把不连续的数据流改变成为 100% 占空比的连续数据流.

多通道遥感数据采取以象元按通道序列排列的 CCT 记录格式. 由于扫描仪每条扫描

行有 256 个象元, 所以 8 个光谱通道一条扫描行的遥感数据正好填满一个记录数据块. 图 4 为 CCT 的记录格式. 图 4 中 BOF 为文件开始, 2048 bytes; Data 为数据块, 2048 bytes; EOF 为文件结束, 2048 bytes; EOY 为卷结束, 2048 bytes.

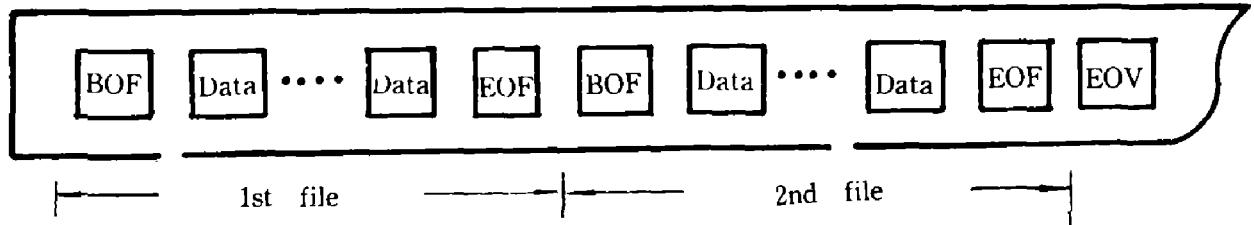


图 4 CCT 记录格式
Fig. 4 CCT record format

3 遥感数据的预处理

3.1 波段配准

短波红外分光谱扫描仪线列红外探测器的排列方式决定了相邻波段图象(数据), 其横向错位 2 个象元, 纵向错位 3 条扫描行. 波段配准预处理是使各波段按同名点在位置上叠合, 基本方法是求得各相应象点的相关值.

在飞行试验时, 以 12 个光谱通道中选取 8 个光谱通道为例, 如取通道 1, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11. 我们用四元组 $\{S, L, B, T\}$ 来描述一个象元在四维空间中的位置, 其中 S 为采样点; L 为采样列; B 为采样波段; T 为采样时间. 则各个波段所在左上角位置分别为: $\{1, 1, 1, 1\}$, $\{7, 1, 2, 1\}$, $\{9, 1, 3, 1\}$, $\{11, 1, 4, 1\}$, $\{1, 4, 5, 1\}$, $\{5, 4, 6, 1\}$, $\{7, 4, 7, 1\}$, $\{9, 4, 8, 1\}$.

经过同名点的调正, 实现各波段分光谱图象(数据)的配准.

3.2 正切校正

扫描仪以恒光学瞬时视场对地物扫描, 在扫描过程中, 对应的地面横向和纵向线分辨率(地面象元宽度)都发生了变化, 见图 5.

设飞机的航高为 H , 扫描仪扫描角为 θ , 扫描仪瞬时视场角为 β , 地面横向线分辨率为 a , 纵向线分辨率为 b , 则:

$$\begin{cases} L = H \tan \theta, \\ a = \beta H \sec^2 \theta, \\ b = \beta H \sec \theta; \end{cases} \quad (1)$$

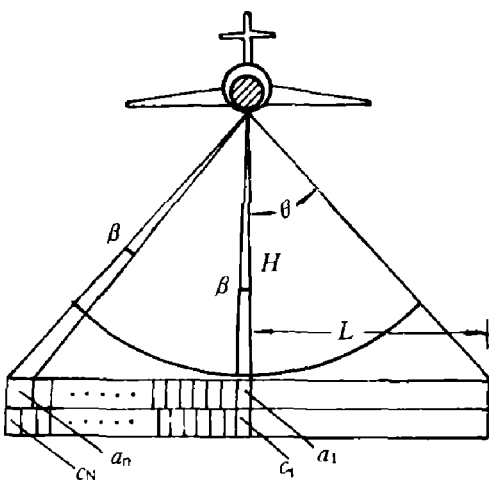


图 5 正切校正示意图
Fig. 5 Schematic diagram of tangent correction

机下点:

$$a_1 = b_1 = \beta H. \quad (2)$$

我们把仪器对地物的扫描过程视为以瞬时视场 β 为单元, 对地面的采样过程, 而且只考虑横向畸变校正. 我们把实际采样的 a_1, a_2, \dots, a_n 变成为以 a_1 为单元的 N 个等宽度的象元 C_1, C_2, \dots, C_N , 即以 a_1 为单元重采样. 这样, 完成校正后, 每行象元数由原来的 $n = 256$ 扩展到 $N = 302$.

3.3 辐射校正

在短波红外波段, 扫描仪接收到的辐射功率主要由两部分组成:

$$P_0 = P_A + P_B; \quad (3)$$

式 (3) 中 P_A 为地物反射的太阳辐射; P_B 为大气散射的太阳辐射, 这项是次要的, 在计算和校正时一般可以略去. 扫描仪接收到的辐射功率由下述基本关系式给出:

$$P_0 = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_{a\lambda} \tau_{o\lambda} A \beta^2 M_{S\lambda} \rho_{\lambda} \sin \varphi d\lambda; \quad (4)$$

式 (4) 中, $\tau_{a\lambda}$ 为一定太阳高度角时大气对单色光的单程透过率; $\tau_{o\lambda}$ 为扫描仪单色光学效率因子; A 为扫描仪通光面积; β 为扫描仪光学瞬时视场; $M_{S\lambda}$ 为大气外太阳光谱辐照度; φ 为太阳高度角.

对应到噪声等效反射率差 $NE\Delta P$ 为

$$NE\Delta\rho_{\lambda} = \frac{4\sqrt{A_D \Delta f}}{D_0 D^* \beta^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \tau_{a\lambda} \tau_{o\lambda} M_{S\lambda} \sin \varphi d\lambda}; \quad (5)$$

式 (5) 中, D_0 为扫描仪通光口径; A_D 为红外探测器光敏面面积; Δf 为系统电子学带宽.

由于式中 $\tau_{a\lambda}, \rho_{\lambda}, \varphi$ 等项的因素, 使得校正工作变得复杂. 我们采取在试验区范围内选择一条横贯全区的垂直航线方向的均质灰体的相对辐射为校正参照体, 这个参照体在遥感各探测波段的反射率基本一致. 图 6 是 7 和 8 两光谱通道计算机辐射校正的结果. 图中 G 为灰度值, N 为象元数. 校正的结果是比较满意的.

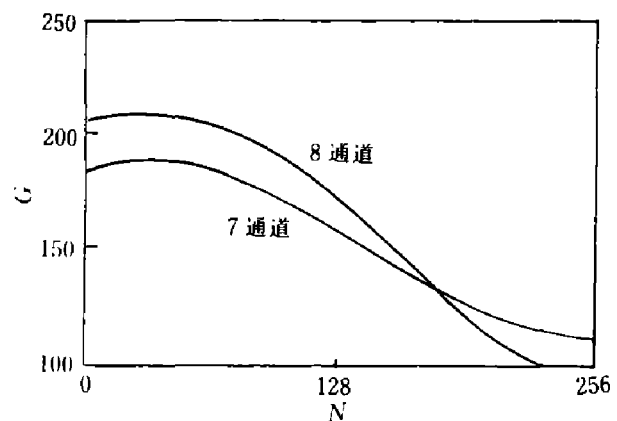


图 6 辐射校正曲线

Fig. 6 Radiant correction curve

4 应用试验结果

短波红外分光扫描仪先后在新疆准噶尔盆地和塔里木盆地进行了油气遥感飞行试验, 获取的红外光谱遥感数据经计算机图象处理, 提取出以地表吸附烃异常为主体的油气特殊信息图. 以准噶尔地区试验为例, 共分出 18 个遥感异常区块. 其中 6 个区块分布在已知油气区, 吻合率为 63.6%. 其余 12 个分布在勘查区域或未知区, 经地面验证证明全部与地下热解烃有关, 其中, 有的与地震构造有利部位吻合, 有的被后来完成的钻井证实

为油气藏, 有的被近来精细地震证明可能是有利的构造部位. 这些圈划出来的遥感油气异常区, 为产业部门提供了极有用的油气藏分布图.

致谢: 中国科学院遥感应用研究所高级工程师朱振海参加了本项工作, 并提供了文中图 1 和图 6 及有关的资料. 参加本工作的还有叶再萍、徐俊生、张金炎、夏苓、金亚平等同志, 在此一并致谢.

参 考 文 献

- 1 Allen M Feder, Ph. D. and Glen T Penfield. *4th Thematic Conference, Remote Sensing for Exploration Geology*, 1985, 79
- 2 Matthews M D, Jones V T. *3rd Thematic Conference, Remote Sensing for Explorattion Geology*, 1984, 663
- 3 Norman B C. *Introduction to infrared and Raman spectroscopy*, 1984, 372
- 4 朱振海等. *科学通报*, 1990, 35: 1257

SHORTWAVE IR SPECTRAL SCANNING—A NEW AERIAL IR REMOTE SENSING METHOD FOR OIL AND GAS RESOURCES SURVEY

Wu Changyong

(*Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China*)

Abstract: This paper describes the principle of oil and gas resources detection by means of IR remote sensing, introduces the airborne IR scanner the author used, and presents experimental results in practical applications.

Key words: oil and gas remote sensing, IR scanner, hydrocarbide microleakage.