

机载短波红外分光光谱扫描数据进行油气藏勘查的模式识别研究*

李加洪 朱振海

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘要 本文通过图像辐射恢复处理消除了大范围航空短波红外分光光谱扫描图像的辐射畸变。以土壤吸附烃的光谱特性为依据,通过对训练区图像的因子分析,在主因子空间上,确定出土壤吸附烃异常的特征方向。通过确定方向因子分析的处理,实现了大范围的油气异常信息的识别、提取与分类。

关键词 图像恢复,油气异常信息提取,图像识别

1 前言

油气藏的遥感探测已经从以探测线性与环形构造为标志的间接探测阶段,发展到了在干旱地区大范围以探测油气藏烃类物质在地表土壤中的微渗漏为主要标志的遥感直接探测阶段。利用短波红外分光光谱遥感直接勘探油气藏主要原理就是油气藏烃类微渗漏理论,渗漏到地表的烃类物质可在土壤内形成土壤吸附烃组分的地球化学异常(称油气异常),这种异常在短波红外光谱曲线上(2.27—2.46 μm)具有较明显的吸收峰,国际上普遍认为该波段就是遥感直接探测油气藏的特征波段^[1]。但是由于短波红外成像光谱仪的大扫描视场角和各个探测通道间光谱的高重叠以及大范围航空遥感探测所具有的不同航带间的辐射不匹配,致使这种弱异常信息的提取非常困难。提取这种弱异常,必须经过准确的图像恢复处理以消除对弱信息的不利因素和采用适用于提取“弱”信息的方法。本文在这个方面,从特征提取与识别的方法上进行了有益的尝试,取得了很好的识别效果。

所采用的短波红外分光光谱扫描仪(光谱范围 1.60—2.50 μm)具有12个探测通道,根据土壤吸附烃物质的光谱特性分析,选取了其中8通道遥感图像数据进行处理(各个通道的中心波长见表1)。工作地区是新疆塔里木盆地大漠区,获取的航空遥感图像数据共34条航带的数字图像,图像大小为256 \times 8 \times 7000,覆盖范围达3万多平方公里。

2 短波红外成像光谱仪图像数据的辐射恢复处理

准确的图像辐射的恢复处理是进行特征增强与提取的前提。图像恢复处理主要包括

收稿日期:1995年1月17日;收到修改稿日期:1995年3月6日

两个方面:一是光学-机械式扫描仪在数据获取过程中产生的在图像上扫描行方向的辐射、几何的正切畸变;二是大范围航空遥感作业过程中,因太阳方位角、航线设计方向的变化以及传感器各探测通道间的响应特性的不同造成的获取的遥感图像在不同波段以及不同航带间的辐射不匹配。

2.1 图像的辐射与几何畸变的正切纠正处理

假设地表为一平面,随着传感器从机下点向两侧扫描,它投影到地平面上的面积(即像元)变大,因其变化基本上符合正切函数关系,称之为比例尺横向压缩正切畸变¹⁾。同时随着扫描视场角的变化,传感器到地面的距离也随之变化,即大气的程辐射的影响也发生变化,使相同地物在图像两侧像元的灰度值较机下点低,这就是图像沿扫描行方向的辐射的正切畸变。

图像横向比例尺压缩的正切畸变的纠正,是按照其规律对图像的像元进行重采样²⁾,采样后的图像像元数为322(原来256)。值得强调的是在像元重采样和赋值的同时,按照公式:

$$\Delta G_i = KG_0[1/(\cos(i\varphi)) - 1]$$

对新像元的灰度值进行程辐射的追加,实现图像沿扫描行方向的辐射的正切畸变。其中 ΔG_i 为采样后第*i*个像元的辐射灰度的追加值,航高*H*为5000m, φ 为瞬时视场角(6mrad), G_0 为统计的机下点的像元灰度值, $[1/(\cos(i\varphi)) - 1]$ 为第*i*个像元程辐射路径的变化率,*K*为调整系数。

2.2 各波段图像间、不同航带间的辐射匹配处理

一般的航空遥感探测飞行均采取东西向,除太阳位于天顶时外,太阳辐射总有一定的入射角,而行扫描探测器是属“行投影”方式采集反射光谱数据,反映到图像上为半边偏暗、半边偏亮,这就是太阳光入射角与航线方向间的相互关系造成的图像扫描行方向的辐射畸变²⁾。大范围的航空遥感探测中往往需要获取多条航带的图像,或者需要隔数日飞行。因在数据获取过程中太阳高度角变化比较大,造成了各航带图像间的辐射不匹配。传感器的各个探测通道间的光谱响应特性的不一致则是造成遥感图像不同波段间辐射特性不匹配的主要原因。解决好这些问题,是实现大范围油气遥感直接探测的一个关键。

该处理模型主要解决上述的图像辐射不匹配问题,处理是在上述2.1节处理基础上进行的,采用了辐射纠正的统计法。对于一条航带、一个波段的图像 SG_{ij} ,经辐射匹配的图像 TG_{ij} 表示如下:

$$TG_{ij} = SG_{ij} + \Delta G_i, \text{ 其中 } \Delta G_i = \text{Mean} - \left((1/N) \sum_{j=1}^N SG_{ij} \right), \Delta G_i$$

为该航带、该波段图像的灰度纠正值。Mean为图像的平均值,*N*为图像行数。

根据2.1和2.2的处理,图版I图1是工作区内大范围且比较均匀的盐碱滩的图像恢复处理后的结果。在恢复处理后的图像上基本消除了各种辐射畸变。在对各航带图像进行辐射恢复处理时,将统计法公式中的图像平均值Mean都用一个确定的值输入,这一点对于辐射匹配处理很重要。在恢复处理后的图像上,不仅消除了图像沿扫描行方向的辐

1) 中国科学院遥感应用研究所,塔里木盆地大漠区油气遥感直接勘探工作总结报告,1993。

2) 朱振海。油气遥感勘探试验报告,1991。

射正切畸变,而且也解决了各航带间、波段间的图像辐射不匹配的问题,使图像扫描行方向上不同的像元之间、不同的波段之间、不同的航带之间的辐射特性具有可比性,这是进行航空遥感大范围探测的关键步骤。

3 异常信息的提取、识别与分类

短波红外分光光谱扫描仪相邻通道间光谱重叠高达 50%,这就带来了遥感图像数据的高相关(60%以上)。数据的高相关性,在很大程度上掩盖了异常信息,使图像的识别能力大大降低,提高图像的识别能力必须进行去相关处理。采用确定方向的因子分析模型,在一定程度上消除了数据的相关性,又增强了异常信息。

3.1 确定油气异常的特征方向

采用确定方向的因子分析模型,提取油气异常信息,必须先要在训练区图像上确定油气异常在主因子空间上的分布方向,确定的根据就是油气异常的光谱特征分析和训练区图像的因子分析的结果。

在工作区内选择了塔中-4井附近的已知油气异常区的图像,作为确定油气异常的特征方向的训练区,图像大小为 322×1024×8。实施了因子分析处理后的相关分析结果表明,用于油气遥感的特征波段(第 5、6 波段)之间的相关系数在各个波段中最高,平均达 0.8 左右,并且与其它波段也具有明显的相关。

从该训练区的因子载荷矩阵 $A = [a_{ij}]$ (表 1)中能够明显地看出各个主因子与各探测通道之间的关系。因子载荷系数的物理意义也表明第 5、6 波段在第 3、4 主成因子轴上的贡献最大。

表 1 短波红外分光光谱扫描数据因子分析的因子载荷矩阵 $A = [a_{ij}]$
 Table 1 The SWIR split-spectrum scanning image factor-loading matrix on training area

主成份及信息含量(%)	波段(μm)	1	2	3	4	5	6	7	8
		1.600	2.087	2.200	2.275	2.300	2.330	2.370	2.450
1	64.590	0.3188	0.3571	0.3662	0.3698	0.3224	0.3570	0.3666	0.3664
2	24.150	0.8653	-0.069	-0.149	-0.089	-0.478	-0.116	-0.077	0.1191
3	5.4400	0.3095	-0.233	-0.262	-0.176	0.8234	-0.005	-0.262	-0.059
4	2.1200	0.3044	-0.233	0.0147	-0.077	-0.167	0.8961	-0.216	-0.256
5	1.3900	0.0098	-0.861	0.2961	0.2112	0.0025	-0.097	0.3327	0.0806
6	1.2000	-0.230	-0.146	-0.381	-0.100	-0.075	0.1684	-0.124	0.8493
7	1.0700	-0.011	-0.037	-0.154	0.8436	-0.039	-0.074	-0.504	-0.041
8	0.0400	0.0005	-0.007	0.7197	-0.229	0.0022	-0.113	-0.603	0.2298

由于整个工作区内(含训练区)的地表是典型的干旱风沙堆积区,全部为沙丘所覆盖,这些(即方差)变化较大的地表结构信息主要集中在前面两个主成份上;位于 2.300μm 和 2.330μm 的第 5、6 波段所反映的油气异常信息,则主要集中在第 3、4 两个主成份上,它们的信息含量分别只占全部信息量的 5.44% 和 2.12%,这也说明油气异常信息是比较微弱的;第 5、6、7、8 四个主成份的图像所反映的是变化极小的地表信息和图像的噪声。

这说明地表的各个要素在图像上以方差的大小表现出来,由于油气异常信息比较微弱,所以它应反映在稍后面的第 3、4 主成份上,这两个主成份所对应的特征向量就是该异常指标在特征空间上的分布方向。通过直接采用原始 5、6 波段图像进行各种处理(包括组合比值、彩色空间变换等),所得到的效果都不如因子分析处理的效果理想,这也从另一个侧面证实了所确定的异常信息的特征方向是客观的。这其中的主要原因是: 3、4 两个主成份实际上也是所选用的 8 个原始波段的一种组合(其中第 2、3、4、6、7、8 波段在第 3 主成份上贡献为负值,2、4、5、7、8 波段在第 4 主成份上的贡献是负值),因子分析正是有机地综合了各个波段在区分地物上具有的不同能力,达到了排除其它地物信息、增强和提取油气异常信息的目的。

3.2 大范围油气异常信息的提取、识别与分类

该工作区地表结构比较均匀,地物覆盖类型比较单调是能够实现利用有确定方向的因子分析方法进行大范围油气异常信息提取的前提。在这个前提下实施确定方向的因子分析处理是必要的,这是因为处理的目的是单要素异常信息的提取,确定的异常信息的特征方向就是确定了计算机识别的标准,只有用一个确定的识别标准才能实现大范围的特征提取。经过多次试验,证实直接对各航带的图像进行因子分析所得到的异常信息非常不稳定,这其中的一个原因就是各航带图像的噪声含量及其分布不同和土壤中一些矿物对土壤吸附光谱特性的干扰,这些干扰信息往往与异常信息相混淆,利用确定方向的因子分析能够排除干扰。另外,由于采用确定方向的因子分析进行逐航带图像的异常信息提取时,不需要再进行特征矩阵的统计运算(尤其是在本次工作中每条航带图像都在 7000 行左右),所以数据处理速度快,非常适用于大范围的多航带的航空遥感数据处理。

由于处理的遥感数据量非常大,所以整个处理过程中都采用了分航带批处理方式一次完成。在图像恢复处理的基础上,直接利用训练区确定的油气异常信息在特征空间上的分布方向(即第 3、4 主成份的特征向量),进行具有确定方向的因子分析,实现逐航带异常信息的增强与提取。

对每条航带的第 3、4 主成份分别进行直方图均衡化处理,使所提取的异常信息进一步增强。利用监督最大似然分类技术,对每条航带进行油气异常区的识别和分类,分类的结果为二值图像,在图像上将异常区置为 255 的灰度值,非油气异常区置为 0 灰度值。

为了提高异常信息的显示效果,选用了反映地表结构明显的第 1 波段的图像作为其背景与油气异常分类图像复合,并将异常分类图像作为红通道显示。在得到油气异常区分布图上,异常区的图斑显示为红色,显示效果非常直观,图版 I 图 2 是部分地区异常信息提取、分类的结果。通过上述一系列处理模型的计算机处理所得出的全工作区油气异常信息分类结果,经物、化探以及部分钻井资料的验证,效果很理想,顺利地通过了有关部门的验收。

4 结论

经过先后 4 次在新疆干旱地区大范围的油气遥感直接探测的反复证明,遥感图像的恢复处理和油气异常信息的提取与识别处理是实现大范围油气藏的遥感直接探测的核

心；在处理中有两个关键问题即图像的辐射匹配及确定油气异常信息在特征空间上的分布方向。

本文研究的油气异常信息增强、识别、提取与分类处理，在应用上仍仅适用于没有或者植被稀少的干旱地区，但是它为今后解决半干旱地区或者湿润地区（即有植被覆盖地区）的油气资源的遥感直接探测奠定了基础。

参 考 文 献

- [1] 朱振海. 油气遥感勘探评价研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1991, 10.

Pattern Recognition of Oil Pool with SWIR Scanner Data

Li Jiahong Zhu Zhenhai

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences)

Abstract Hydrocarbon content anomalies in soil above oil pool are good direct indicating index on the earth surface. Oil remote sensing anomalies were obtained by airborne SWIR scanner images through micro-computer image processing, including image restoration, oil anomalous information extraction and recognition based on spectral features of the index.

The result was proved to be correspondent with the ascertained distribution of oil pools.

Key words Image restoration, Oil anomalous information extraction, Image recognition