

卫星 TM6 波段对油气藏的指示意义

刘燕君

冯钟葵

(北京大学遥感技术应用研究所 北京 100871) (中国科学院遥感卫星地面站 北京 100086)

宋丹

(北京大学遥感技术应用研究所 北京 100871)

摘要 在陇东黄土高原研究区的 1987 年 8 月 28 日的 TM6 遥感图像上,发现热红外波段出现了高异常区(带),并且与低异常伴生成双出现。而 1987 年 9 月和 1986 年 8 月的图像上, TM6 的特征符合热红外辐射的规律,无异常现象。

为探讨异常形成的原因,经查证,1987 年 8 月 10 日在研究区西北部曾发生 5.1 级地震;已知油田和油井多分布在高异常边缘的低值区(带)内。这两项是形成 1987 年 8 月 28 日 TM6 异常变化的主导因素。地震活动促使地体热辐射能力增强,引起高异常,同时也促使烃类大量逸出,并导致土壤中有关组分的改变和水分含量的增加,从而形成了油田区的低异常。不言而喻,低异常区(带)可以作为预测油气藏的重要标志。

关键词 热红外遥感,地震,油气藏预测

关于油气藏存在微渗漏现象,并在地表相应部位出现热异常信息以及热红外辐射对油气藏的指示意义问题,近年来已引起国内、外遥感地质界极大的关注。为了提供油气勘探靶区,一些专家利用 NOAA 卫星热红外波段资料及时的优势,或者机载热红外波段资料地面分辨率较高的优势,对油气在热红外遥感图像上的显示做过不少研究工作,也取得了一定的进展。但是这两个遥感平台,由于前者地面分辨率($1.1 \times 1.1 \text{ km}^2$)过低;后者选择时相的余地较少,其应用效果难免有所局限。笔者曾用地面分辨率较高 ($120 \times 120 \text{ m}^2$),并可作多种时相对比的卫星遥感平台的 TM6 波段资料,对油气信息的显示做过一些研究。现介绍于后,以期与同行交流,并希得到指正。

我们在陇东黄土高原,用遥感-地球化学方法进行油气藏预测的过程中,在 1987 年 8 月 28 日(地震期间)的 TM6 图像上,发现在工区范围内(图 1)出现了数处高异常区(带),并且与油气藏的分布密切相关。为探讨异常形成的原因及其地质意义,我们又选用了同年一个月后(震后)和 1986 年同一月(震前)两个时相的 TM6 图像进行对比分析,获得了有益的结果。本文着重介绍研究区 TM6 异常变化的特征,探讨该特征与地震活动的关系及对油气藏预测的指示意义。

收稿日期: 1992 年 8 月 15 日,收到修改稿日期: 1992 年 10 月 30 日

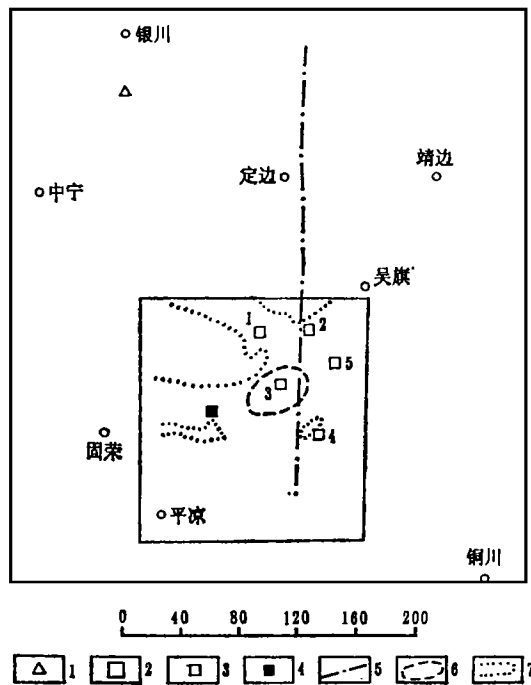


图 1 研究区地震活动与热辐射分析示意图

1——震中, 2——研究区, 3——油田, 4——油井 5——大地构造单元界线,
6——云覆盖范围, 7——高异常区

Fig. 1 Sketch map of seismic motion and thermal infrared radiation

1 TM6 波段的特征

Landsat TM6 通道, 波长为 $10.4\text{--}12.5\mu\text{m}$, 像元点为 $120 \times 120\text{m}^2$ 。记录的是上午 9.30—10.30 地表及空中的亮度温度。亮度温度 (T_B) 为物体的比辐射率 (ϵ_λ) 与物体的真实温度 (T) 的乘积^[3]。遥感器以亮度值(0—255)记录的亮度温度反映成像时刻地物及大气的热状态和热性质。一般情况下, 就同一景图像而言, 亮度值数据的差别不大, 图像大多呈灰色调, 反差较小。此外, 由于热辐射是连续变化的, 故而不同亮度之间的界线较模糊。

表 1 太阳高度角与 TM6 亮度均值对比表

Table 1 Comparison of lightness mean values between solar elevation angle and TM6

时 相	震 前	震 后
太阳高度角	57°	42°
TM6 亮度均值	165	143

同一地区不同时相之间, TM6 亮度值的差异,主要决定于太阳的辐照度。辐照度随成像时太阳高度角的大小而变化。表 1 列出了研究区两个时相的太阳高度角, 及具代表性的亮度均值。由表 1 明显可见二者的正相关关系。

TM6 图像上亮度高低的规律性变化, 主要是地形和地貌的反映。局部无规律变化, 受天气、植被、土壤质地和湿度及人为活动等因素影响。而有的地区的 TM6 图像出现了与上述规律性和非规律性变化的各种因素均无关的异常变化。这种变化正是我们所探讨的内容。

2 研究区 TM6 图像的异常变化

在 1987 年 8 月 28 日研究区的 TM6 黑白图像上, 明显可见存在高、中、低不同亮度的差别。图 1 中所示有 4 处为高亮度或较高亮度区(带), 它们与背景之间差异显著, 是地面上的高温异常区。地面实况表明, 这些高异常区(带)的界线切穿地形线, 分布范围与地貌景观无关, 而且亦非植被或人工地貌的反映。

为探讨 TM6 异常形成的机制, 我们选择了区内高、低分异较显著的北半部, 用 3 个时相的 TM6 图像进行了对比。震前和震后两个时相的图像的目视判读结果表明, 在这两个像幅内, 各自的灰度变化很小, 色调均一, 与 8 月 28 日的分异现象形成鲜明对照。为进行定量的分析和对比, 我们在图像上分别划出了穿过 1 号、2 号和 5 号油田的 3 条灰度差异变化程度不同的区域剖面线。利用计算机读出剖面线上各像元点的亮度值, 并做了线上各区段亮度值的统计分析和对比, 计算结果见表 2—4。3 条剖面线的取样像元点数

表 2 1 号(油田)剖面 TM6 亮度均值一览表

Table 2 TM6 lightness mean values of the oil field 1 section

部 位	均 值			均方差		
	地震期间	震后一月	震前一年	地震期间	震后一月	震前一年
高值区	141.58	143.71	169.82	5.38	6.70	7.24
低值区	130.35	144.42	165.53	2.51	8.94	9.30
中值区	134.02	147.82	167.79	4.70	8.18	10.60
油田区	131.64	145.63	165.03	3.23	7.54	8.08

表 3 2 号(油田)剖面 TM6 亮度均值一览表

Table 3 TM6 lightness mean values of the oil field 2 section

部 位	均 值			均方差		
	地震期间	震后一月	震前一年	地震期间	震后一月	震前一年
油田西	134.09	145.30	170.71	4.05	7.30	10.48
油田内	129.26	141.47	166.16	1.92	7.51	8.96
油田东	129.51	142.71	165.53	2.34	7.37	9.71
全剖面	131.16	143.45	167.55	3.79	7.52	10.18

分别为: 1 号 971 个, 2 号 655 个, 3 号为 509 个。从 3 个表可以看出, 震前和震后两个时相图像的共同特点为: 3 个剖面之间的亮度均值较接近, 方差较稳定, 这与图像目视判读“灰度变化较小, 色调均一”的结论是一致的。

表 4 5 号(油田)剖面 TM6 亮度均值一览表

Table 4 TM6 lightness mean values of the oil field 5 section

部 位	均 值			均方差		
	地震期间	震后一月	震前一年	地震期间	震后一月	震前一年
油田西	127.81	139.34	167.91	2.29	9.12	9.03
油田内	128.34	143.19	167.62	1.49	6.78	7.25
油田东	126.93	140.26	158.54	2.09	7.15	9.91
全剖面	127.52	140.69	163.46	2.11	7.83	10.19

为分析亮度异常变化的规律, 各剖面内均以 8 月 28 日的图像为准分出了不同的亮度区段。其中 1 号剖面的高、低、中 3 个亮度区(带)区别明显, 油田的位置跨中、低两部分; 2 号剖面的油田西区为较高亮度区, 与 1 号剖面的中亮区(带)相当; 5 号剖面均处于低值区内, 变化不大。

由于不同时相太阳辐照度的差异及遥感器记录增益的不同, 各时相之间不宜于作横向对比。为分析在典型剖面内不同时相的变化特点, 应作同一时相内不同区段的差异分析。表 5 为用方差分析方法做显著性检验(令 $\alpha = 0.05$) 所得的计算结果。表中所列的微弱差异, 实际上只有统计学的意义, 无物理意义, 故可略而不计。表 5 中 1 号剖面的数据充分说明, 8 月 28 日(地震期间)图像亮度值的高、低差异显著, 热红外辐射发生了明显的分异现象。在震前一年的图像上, 这种分异现象基本上是不存在的, 仅有低与中的差异。震后一个月图像亮度值的高值区与低值区之间的差异, 虽然尚属显著, 但高值区的亮度均值反而低于低值区, 因此可以说地震期间产生的高异常及高、低分异现象已不复存

表 5 各剖面不同区段之间差异性分析结果

Table 5 Difference analyse of not alike areas in sections

时 相	1 号剖面			2 号剖面			5 号剖面		
	高值区— 低值区	高值区— 中值区	中值区— 低值区	油田内— 油田西	油田东— 油田西	油田东— 油田内	油田内— 油田西	油田东— 油田西	油田东— 油田内
地震期间	+++	+++	+++	+++	+++	-	-	+	+
震前一年	-	++	++	+	+	-	+	-	+
震后一月	++	+	+	+	++	-	-	++	++

注: +++极显著 ++显著 +微弱 -无差异

在。2 号剖面的亮度值, 在地震期间油田与油田东和油田西之间的差异极显著; 震前一年基本无差异; 震后一个月东与西之间尚有较小的差异。5 号剖面中, 在震前和地震期间油田与其东、西之间的亮度值基本无差别。而在震后一月的图像中, 油田的东与西之间却存在一定的差别。但是遥感和其它资料综合分析后认为, 这种差别是天气的原因, 不具地质

意义。

综上所述可以得出结论,研究区内,在地震期间地表会出现热异常现象及高温和低温的分异现象,而在震前一年和震后一个月的图像上,这种现象是根本不存在的。

3 TM6 异常变化与地震活动的关系

TM6 的亮度变化就同一时相的图像而言,主要是地形、地貌及植被等地表因素或者气候因素的影响。这些影响的特点是显而易见的,规模小,有规律性,并且多有资料可查证。8月28日研究区图像上出现的西北部高异常区、三岔以北近东西向高异常、北部的较高异常区及4号油田附近面积较小的较高异常区,它们共同的特点,一为范围一般较大,一为切穿地形线,与各种地表因素均无对应关系。更值得注意的是,同年一个月以后(9月29日)和同月一年以前的图像,均未出现这种异常现象。究其原因,显然不在地表,而可能是地质构造变动引起的热辐射异常。

经查证,研究区西北部的灵武地区,曾于1987年8月10日发生5.1级地震。近几年地震界已有人根据在地震活动期间出现亮度温度高异常的变化规律预报地震,并取得了令人鼓舞的效果^[2]。该项成果说明,地壳活动的强大动能,会导致地体不均匀的热辐射,并出现突发性的高温异常区。另外,地壳运动也可能使地下的某些活动性组分,如CO₂等随地壳的运动,通过裂隙而扩散到空中,经大气中离子的激发和太阳辐射等作用,产生局部温室效应,而大大提高空中的温度,致使遥感器记录到显著的高温异常区(带)。

图1表示了研究区高异常和较高异常区(带)的部位,以及震中区与研究区的相对位置和距离。由图1可以看出,距离震中越近,高异常的范围越大,异常值越高。距离未超过200km的西北部,亮度异常值最高,异常的范围也最大。而大于200km的三岔一带,虽亮度值很高,但范围却较小,且因受近东西向次级构造的控制,而成带状分布。从发震的构造部位分析,该次地震受南北向贺兰—六盘构造带控制,其活动的强度向南衰减很慢,而向东衰减较快。特别是进入另一大地构造单元——东部稳定区后,活动强度衰减得将更为显著。因而2号油田旁的高异常区,虽然距震中小于200km,但高异常的值低于西北部。4号油田亦处于稳定区,故异常区的规模较小,高异常值亦低于西北部。受天空云雾的影响,5号油田及其周围均处于低值区,同时该区又深处稳定区内部,故地震活动的影响极不显著, TM6 未出现异常现象。

综上所述,根据高温异常区的空间分布和出现的时间特点,发震构造及其活动强度的衰减规律,以及大地电磁波辐射的理论等诸方面综合分析,可以认为研究区 TM6 异常的出现是由1987年8月10日灵武地震引起的。也可以说,地壳运动可引起电磁波辐射,并在某些遥感波段产生明显的反映。这一结论,无疑为我们将大地构造和地震地质的研究推向纵深开辟了一条新途径。

4 TM6 异常对油气藏的指示意义

地震期间的 TM6 影像特征,清楚地显示出在高异常区(带)或较高异常区(带)的一

侧,普遍伴有规模相当的低异常或较低异常区(带)。可谓高、低分异,成双出现。研究区内已知油井和油田大多处于成双的地域内、低或较低亮度的部位。例如图 1 中 1 号油田和出油井位均处于高、低异常差别最为显著的低—中值区地段内。位于东部稳定区边缘的 2 号和 4 号油田,二者虽然分异的规模不同,但均处于较高异常区(带)边缘的低值区内。总而言之,高、低分异地域内的低亮区,可以作为预测与灵武处于同一构造单元的油气藏的重要标志之一。

研究表明,5 号油田一带 TM6 图像上未显示出高、低分异成双出现的现象。但是,用该时相图像作亮度值分析可见,5 号油田内 TM 各波段的亮度值均低于周边。说明油田内、外还是存在差异的,只是程度不同而已。

为什么在油气藏上部地表,地震活动期间 TM6 的亮度值会出现高、低分异的现象?其形成机制可以解释为:深埋于地下的油气藏,普遍存在烃类的微渗漏现象,并能导致相应部位土壤中一系列地球化学组分的异常,这已是人所共知的事实。但在一般情况下,这种渗漏及地表的异常变化均很小,红外遥感信息亦十分微弱,不易觉察,如地震影响较小的 5 号油田即为一例。但在地震活动期间,地壳运动在激发地质体增强热辐射的同时,也激发了烃类物质及与油气聚积相关的化学组分的大量逸散。逸散之量远大于一般的微渗漏,故而引起相应部位土壤中一系列地球化学组分的异常远较非地震期强烈,此间遥感信息也随之显示出了异常。研究表明,这些异常总体上表现为油田区内各 TM 波段的亮度值均低于背景区的亮度值。引起低异常的各项地球化学指标当中,尤以含水量的异常作用显著。地表油气晕圈在遥感图像上呈色调环形影像。色调环内含水量的增大是促使 TM6 形成低异常的重要因素。例如图 1 中所示油井的色调环,环内含水量为 4.32%,环外为 3.17%;环内 TM6 亮度均值为 136.5,环外为 139.5^[3]。油气区含水量的增加,是建立在背景区含水量减少的基础上的,或者说 TM6 的低异常与高异常是相伴而生的。这就是 TM6 亮度值高、低分异、成双出现的一个重要原因。

概括以上各节可归纳为:在地震活动波及的大地构造单元内,在地下有油气藏的部
位,地震作用可导致地表的亮度温度出现高异常和低异常区(带)的分异现象,并且成双出现,油田普遍处于低异常范围内。这一结论不仅已被已知油田的资料所证实,而且亦被遥感地球化学方法研究所证实。这一进展为我们用遥感方法预测油气藏在时相和波段的选择方面提供了重要依据,再配合其它研究手段,即可大大提高油气藏预测的命中率。

参 考 文 献

- [1] 陈述彭主编. 遥感大辞典. 北京: 科学出版社, 1990. 169, 37.
- [2] 强祖基, 徐秀登, 侯常恭. 卫星热红外异常——临震前兆. 科学通报, 1990, (17): 1324—1327.
- [3] 刘燕君, 金丽芳, 程承旗. 遥感图像上的油气晕. 环境遥感, 1992, 7(1): 59—64.

Satellite TM6's Indication to Oil-Gas Reserve

Liu Yanjun

(Institute of Remote Sensing, Peking University)

Feng Zhongkui

(China Remote Sensing Satellite Ground Station)

Song Dan

(Institute of Remote Sensing, Peking University)

Abstract The high-temperature thermal abnormal areas are found on TM6 image of Aug. 28th in 1987 in the interested region of Longdong loess plateau, These areas are accompanied by lowtemperature thermal abnormal areas. But on TM6 images of Sept. 1987 and Aug. 1986, the features of thermal infrared are in accordance with normal thermal infrared radiation rules, there are no abnormal phenomena.

To make out the causes of thermal abnormality; we find out that there happened an earthquake of 5.1 magnitude in northwest of the interested region on Aug. 10th in 1987 and existed oilfields and oilwells are mostly located inside low temperature thermal abnormal areas along the edges of the high-temperature thermal abnormal areas. These two factors are main causes of TM6 image abnormality of Aug, 28th. The earthquake enhances the thermal radiation of geological body and leads to the high-temperature thermal abnormality and a lot of effusion of hydrocarbon materials. These bring about the reformation of related, composition and augmentation of moisture in the soil, and finally the lower abnormality in oilfield is formed. It is evident that the lower abnormal area is one of the most important marks for prediction oil-gas reserve.

Key word Thermal infrared remote sensing, Earthquake, Prediction of oil-gas reserve