

# 第十二章、热红外遥感在地学中的应用1

- 利用热红外信息揭示隐伏地质构造
- 热红外在火山方面的研究
- 煤自燃的热红外遥感监测
- 热红外用于油气勘测



# 第一节、利用热红外信息揭示隐伏地质构造

## 一、依据

地表热信息的分布特点在某种程度上反映了地质构造的特点。

### 1. 地球是一个逐渐向深部增温的球体

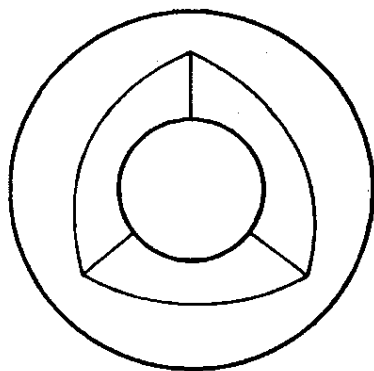


图 3-10 地球的圈层  
结构图解

地壳、地幔、地核之间的圈层图解

表 3-1 地球内部主要物理性质和圈层划分表

圈 层				深 度 /km	$V_p$ /km/s	$V_s$ /km/s	密 度 /g/cm <sup>3</sup>	特 征	其 他	
名 称		代号							岩石圈	构造圈
地 壳	上地壳	A	$A_1$	陆 洋 壳 壳	5.8	3.2	2.65	固态,陆壳区横向变化大,许多地区夹有中间低速层	岩石圈	构造圈
	下地壳		$A_2$		6.8	3.9	2.90			
地 幔	上地幔	B	$B_1$	15;0~233;12	8.1	4.5	3.37	——莫霍面—— 固态	软流圈	
			$B_2$	60~200	8.0	4.4	3.36	塑性为主		
			$B_3$	220	8.7	4.7	3.48	固态,波速较均匀	中间圈	
	过渡层	C	400	9.1	4.9	3.72	固态,波速梯度大			
			670	10.3	5.6	3.99				
	下地幔	D	$D'$		11.7	6.5	4.73	固态,下部波速梯度大		
			$D''$		13.7	7.3	5.55			
地 核	外 核	E		2 891	8.0	0	9.90	——古登堡面—— 液态	内圈	
				4 771	10.0	0	11.87			
	过渡层	F		5 150	10.2	0	12.06	液态,波速梯度小		
	内 核	G		6 371	11.0	3.5	12.77	固态		
11.3					3.7	13.09				

据“初步地球参考模型(PREM)”改编。



## 传导、对流

地表测量的大地的温度是地球内热最为直接的显示！

大地热流 —— 地球内部圈层的温度梯度与岩石的热传导率的乘积。

通常对不同的大地构造单元而言，深部的热流值变化范围都很大，即来自地壳深处及上地幔的热量在不同构造区其差别很大！

如：凹陷、断裂、地层以及火山等区域构造特征。

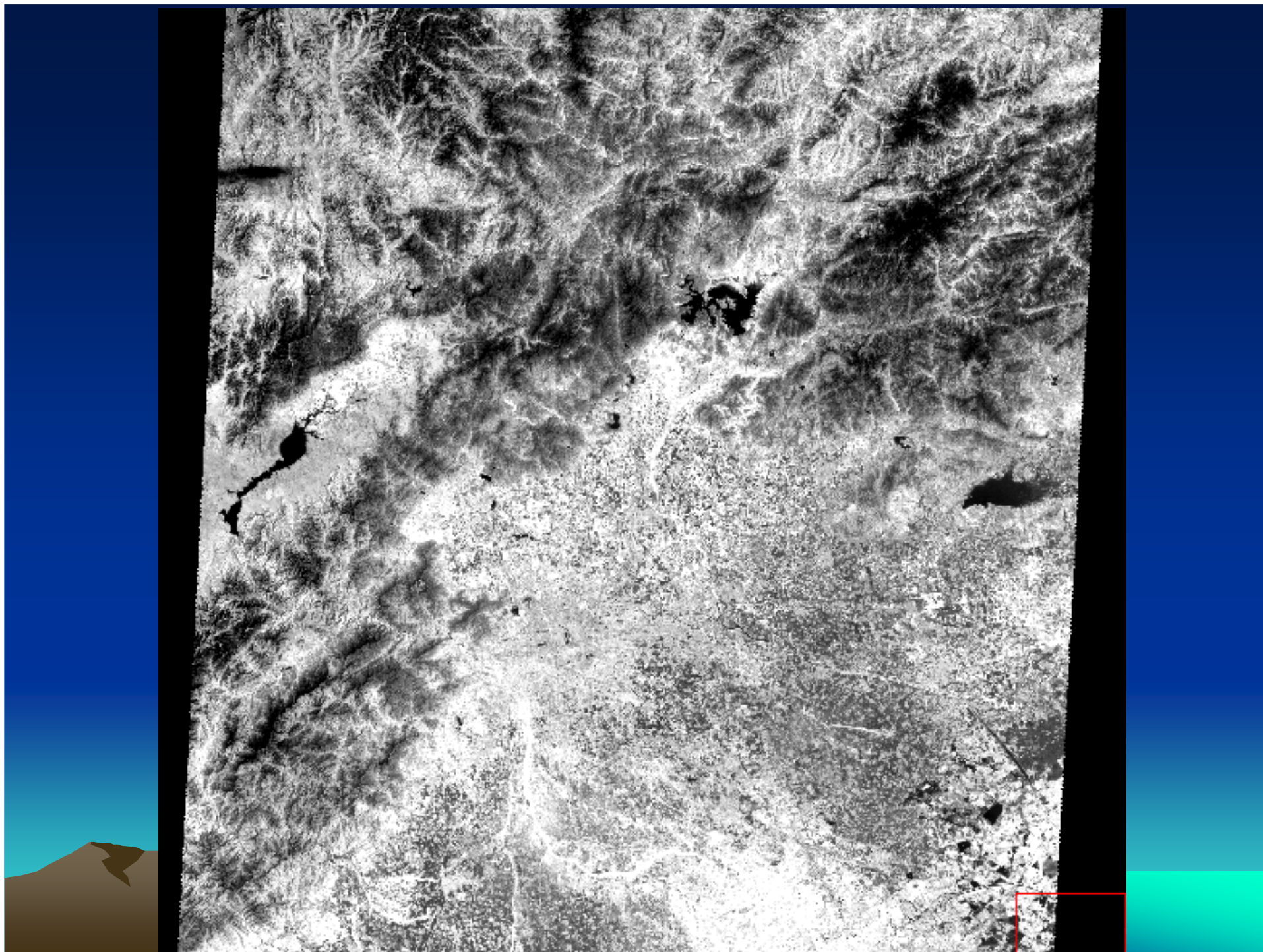


## 2. 总结

地球表面经历了漫长的地质年代和多次构造运动，形成若干构造层，越老的构造层埋藏越深，受地心增温影响具有较高的温度；较年轻的构造层埋藏较浅，温度较低。 葛碧如







## 二、实例分析

# 热红外遥感鄂尔多斯高原 隐伏地质构造<sup>①</sup>

葛碧如 滕吉文

(中国科学院地球物理研究所, 北京 100101)

郑新江 陆文杰 耿树民

(中国气象局卫星气象中心, 北京 100083)

**摘 要** 用 NOAA-11 的热红外通道数据计算地面温度场, 依据各构造层的地热特征解释鄂尔多斯高原第四系覆盖下的隐伏地质构造。

**关键词** 热红外遥感 隐伏构造 地温场

为何解译隐伏构造体信息？



# 1. 研究思路

本文利用热红外波段遥感数据计算地面温度场,将其与不同温度地质构造层联系起来,探讨隐伏于鄂尔多斯高原毛乌素和库布齐沙漠第四系覆盖层下的地质构造,这是地表地质工作不能直接看到,而需要重、磁、震地球物理探测确认的地下构造。

这一热红外遥感地下构造的新方法,是建立在遥感与地质及地热学相结合的边缘领域。其基础是热红外电磁波谱学,应用于地学,涉及大气和空间科学,从理论上讲属广义的地球物理学范畴。

我国目前地表的矿产多已被认识或开采,急待查清深埋地下的矿产资源。在大部地区被第四系沙漠、黄土和冲、洪积层掩盖的情况下,利用热红外遥感新技术快速地清查第四系覆盖下的构造特征,对矿产资源勘探有很大的实际意义。此外,热红外遥感图像还能直观地显示地热资源的分布,以及地表水和浅层地下水的地理分布。





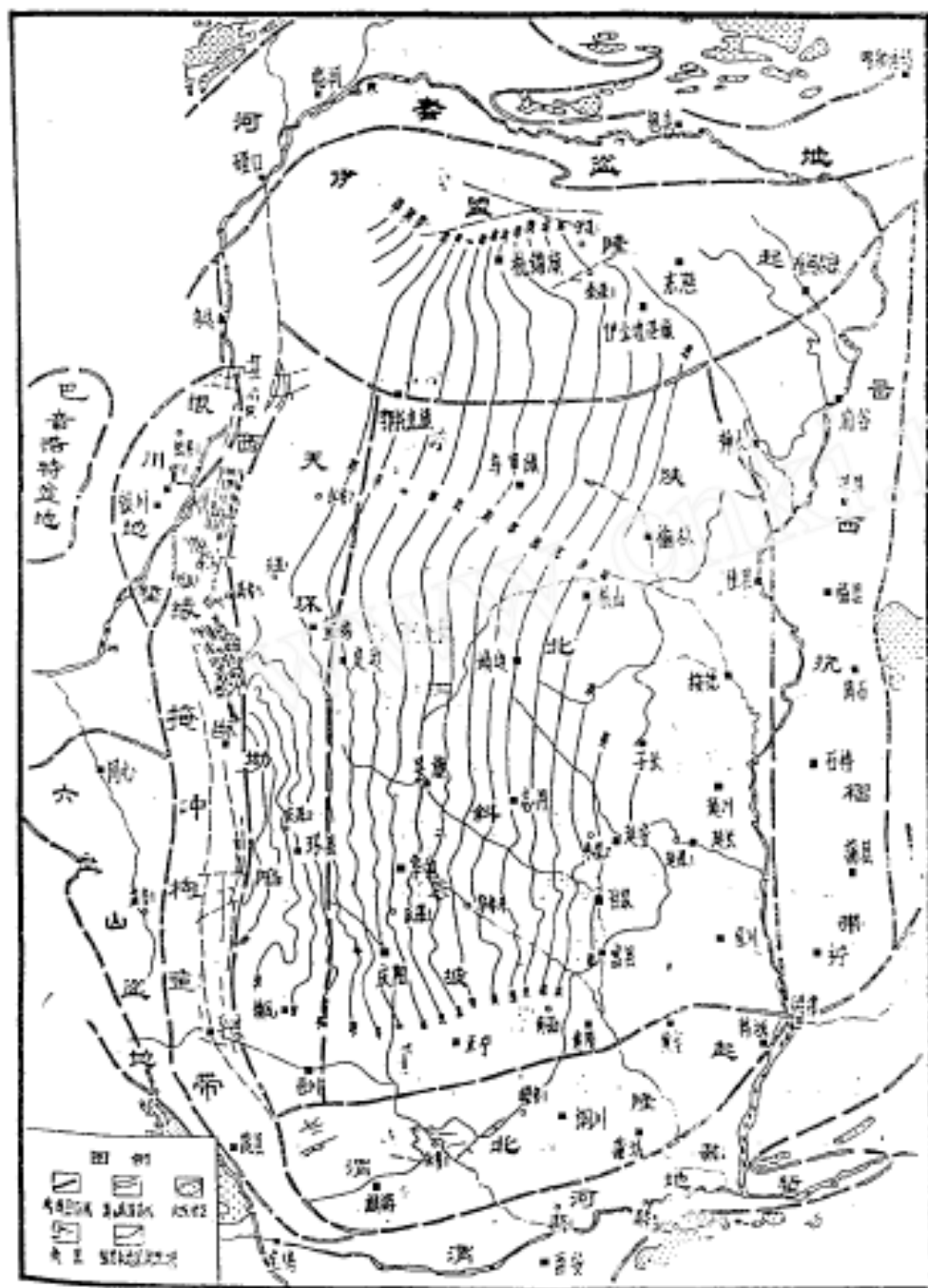


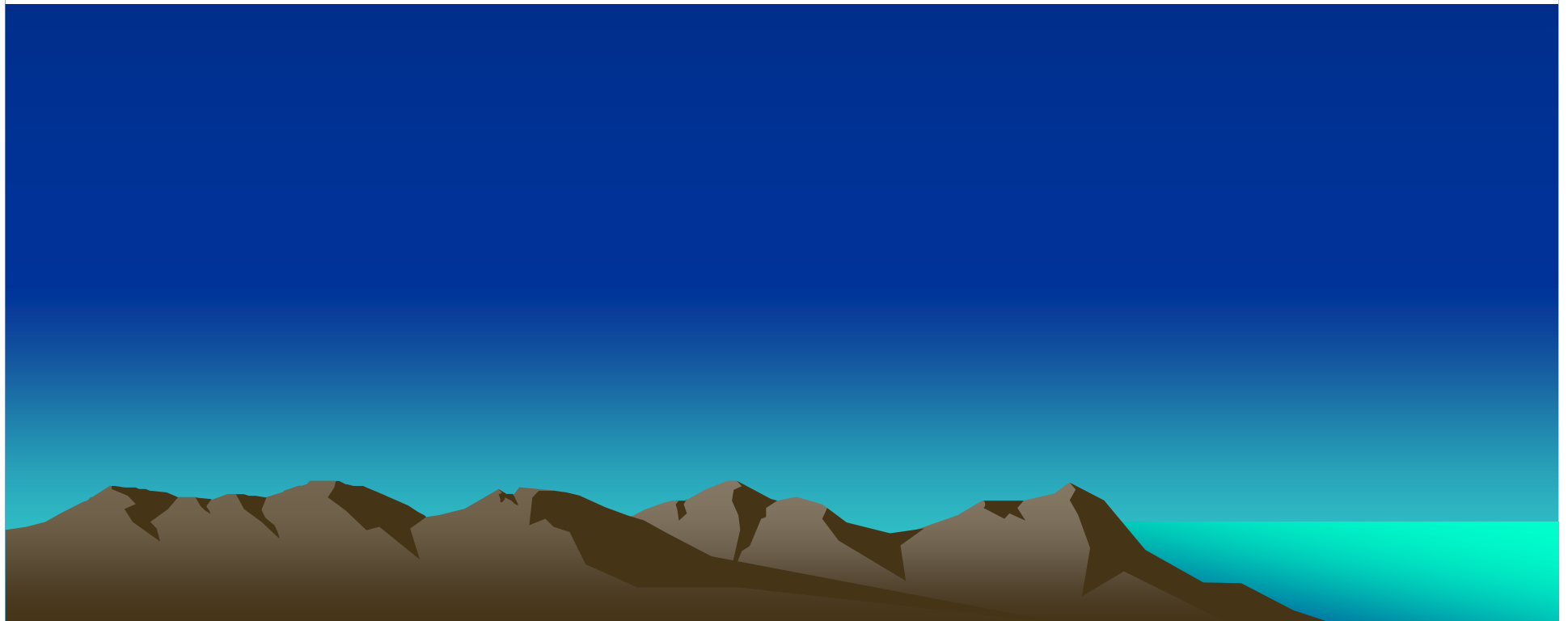
图 1 陕甘宁盆地构造分区图(据长庆石油局 1995)

## 2. 鄂尔多斯高原区域构造概况

研究区位于  $37^{\circ}\text{--}41^{\circ}\text{N}$ ,  $106.5^{\circ}\text{--}111.5^{\circ}\text{E}$  范围内,属鄂尔多斯高原,它包括内蒙伊克昭盟的库布齐沙漠和毛乌素沙漠及其间的沙质地区,以及陕北的部分地区.三面被黄河断陷包围,西邻银川盆地,北邻河套盆地,东邻吕梁山系,南邻秦晋黄土高原,面积 20 余万平方公里.属内陆荒漠草原地带,干燥剥蚀作用占优势,风成地貌发育,第四系沙丘堆积广布,部分地区有基岩出露.海拔 1400—2000m,西北高,东南低,高原内地势较平坦,微波状起伏,高差多在 100m 左右,低洼处盐碱湖零星分布,少淡水资源.西面的银川盆地海拔 1100—1200m,相对高原落差达 200m 以上,盆地南北长 150km,东西宽 40km,走向北北东,是贺兰山与鄂尔多斯高原间的断陷盆地,盆地内充填黄河冲积层.北面的河套盆地海拔 1000m 左右,东西长 170km,南北宽 40km,相对高原落差最大可达 1000m,是界于阴山与鄂尔多斯高原间的断陷盆地,盆地中充填黄河冲积层.盆地在乌梁素海处收缩,变窄了的黄河河谷盆地向东一直延伸至托克托夹转向南,在高原东缘沿深大断裂形成黄河大峡谷,长 725km,深谷危崖,湍流飞沫,咆哮直泻向南南西方.高原南界大致沿古长城,在纬度  $37^{\circ}20'\text{--}37^{\circ}40'$  处以东西走向的定边——吴堡构造带分布,它也是沙漠与黄土的分界,此带以北属鄂尔多斯荒漠高原,以南属秦晋黄土高原<sup>[1]</sup>.

### 3. 研究区的5个地层单元

鄂尔多斯高原自震旦纪以来已进入稳定的地台发展阶段,基底由太古界、元古界变质岩系组成,其上有中晚元古界、早古生界、晚古生界—中三迭统、晚三迭统一白垩系、新生界五个构造盖层。除晚三迭世—白垩纪受燕山运动影响沉积厚度较大外,其余各层均为地台型稳定而较薄的沉积。除西部桌子山外,高原内部地层平缓,倾角约  $1^{\circ}$ ,是近代隆起剥蚀区。



## 4. 根据热红外遥感影像分析:

本研究区位于陕甘宁盆地北部. 根据热红外遥感温度场特点,可划分出伊盟北部和乌兰格尔东西方向的高温带,东胜低温带、百眼井—伊金霍洛中温带和南部东西方向的大水坑—绥德中温带,及此带以南的低温区,中间为北东方向的佳县—米脂中温带,榆林高温带,乌审旗中央宽阔的高、中、低温混合带,西毛乌素—都思兔河间高温区. 这一划分与前人构造划分很相似,表明地面温度场反映了从基底到盖层各时代岩层和构造的综合温度概况.

岩浆是沿着构造裂隙向上涌的,可据温度场来判断!



## 5. 主要地段热流值

地球是一个逐渐向深处增温的球体,据 1974 年 F·普雷斯给出的地球内部温度分布模式<sup>(5)</sup>如表 1:

表 1

深度(km)	温度(℃)	位 置
400	1900	上、下地幔界线
2900	3700	地幔、地核界线
5100	4300	内、外地核界线
6371	4500	地心



以华北地区沉积盖层为例，来看各年代岩石放射性生热率A（HGU）

表 2

层 段	新生界 K <sub>1</sub>	中生界 M <sub>1</sub>	古生界和中、晚元古界 $P_{12+3}+P_4$	上地壳	下地壳
A(HGU)	2.92	3.13	1.18	4.2	0.6

表 3

层 段	新生界 K <sub>1</sub>	中生界 M <sub>1</sub>	古生界和中、晚元古界 $P_{12+3}+P_4$	上地壳	下地壳
q(HGU)	0.15	0.03	0.03	0.36	0.08

从表 3 中可见沉积盖层中  $P_{12+3}+P_4$  生热率最小，热流也低，它对地表热流的贡献占总热流的 2.3%，M<sub>1</sub> 生热率高，但其厚度较小，因而其热流并非最大，它也占地表热流的 2.3%，下地壳生热率最低，但其厚度大，因而热流并不小，估计它占地表热流的 6%，新生界的厚度大，热量最高，它占地表热流的 11.3%，沉积层之下的上地壳的热流占地表热流的 27.1%，还有 51% 的热流由地幔热流供给。

## 6. 据NOAA/AVHRR数据的热红外遥感地质构造解译

不同岩类表现出不同的热特性,热信息的分布特点在某种程度上反映了地质构造的特点. 与地面温度成正比关系的热红外电磁波辐射量向大气辐射,有 20%穿过大气向宇宙射去,为卫星上的传感器 AVHRR 接收,当卫星经过地面站上空时将数据送回地面,然后根据遥感热红外外辐射量求地面温度场.

鄂尔斯是华北古老地台的一部分,此次研究引用华北冀中拗陷各地层段的热流值,定性解释地温场的地质意义,热红外遥感图像上紫红色及红色最高温区反映太古界及下元古界的基底,黄色中温带反映古生界及中生界,绿色低温带反映中生界和新生界,在此基础上进行地质构造解释.

各种不同的颜色, 代表不同温度场所指的地层!





## 7. 遥感数据处理

### (1) 数据获取

选择无云、雪覆盖,研究区在星下的 1991 年 4 月 1 日凌晨天亮前 2 时 51 分(夜间 n)及同日下午 2 时 13 分(白天 d)NOAA-11 气象卫星两条轨道的 AVHRR 数据,经过大气校正及图像配准后,首先根据“用 NOAA-AVHRR 数据求地面温度场的分裂窗方法”(简称“方法”)一文中的公式计算 TISI,然后计算地面发射率  $\epsilon$ ,最后计算地面温度  $T_s$ .

利用所求三个通道CH5、CH4、CH3的发射率 $\epsilon_5$ 、 $\epsilon_4$ 、 $\epsilon_3$ 数值做出研究区的发射率等值线图



## (2) 发射率等值线图

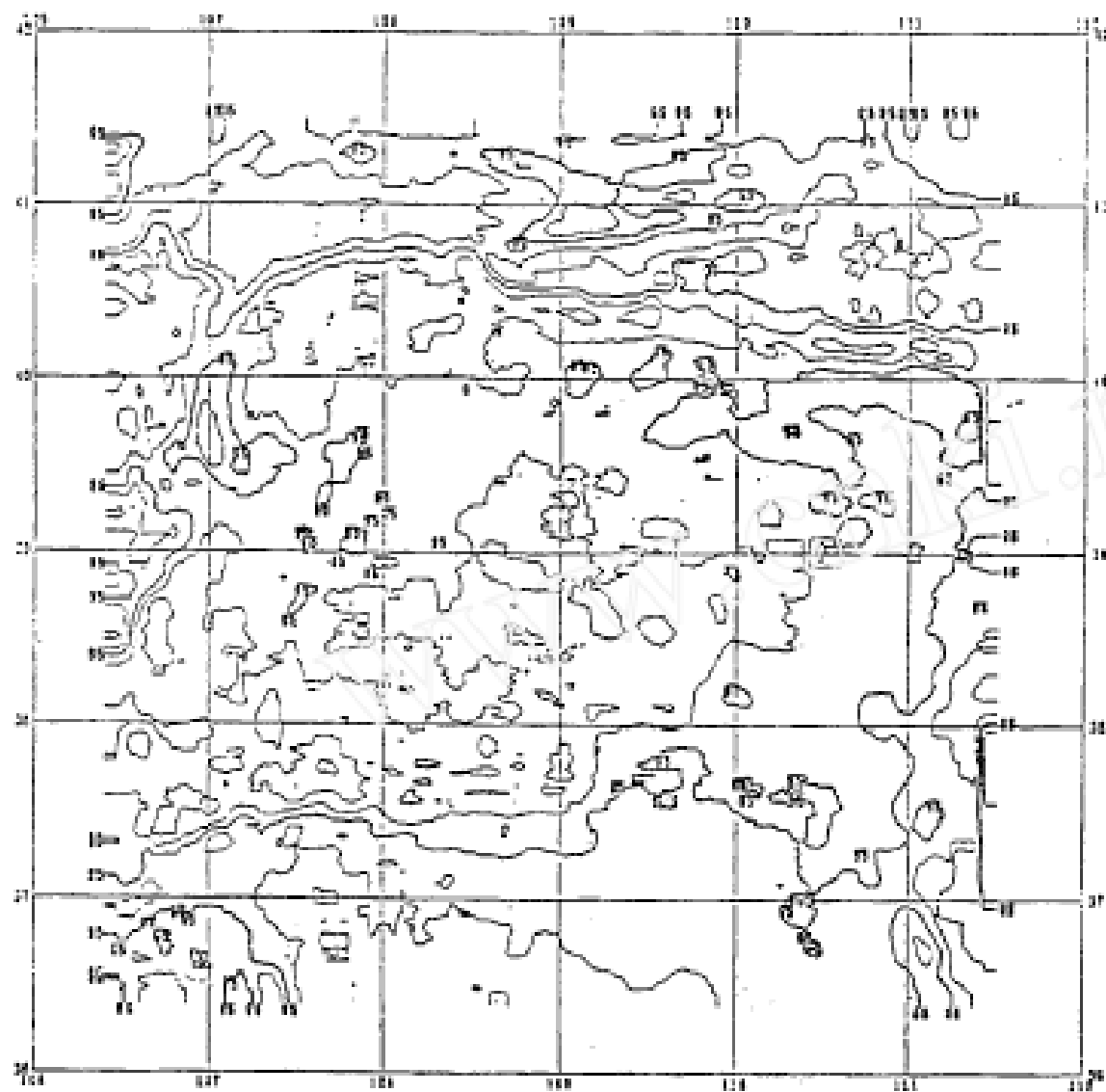


图 2 CH5 的地面发射率等值线图(图上数字为小数两位)



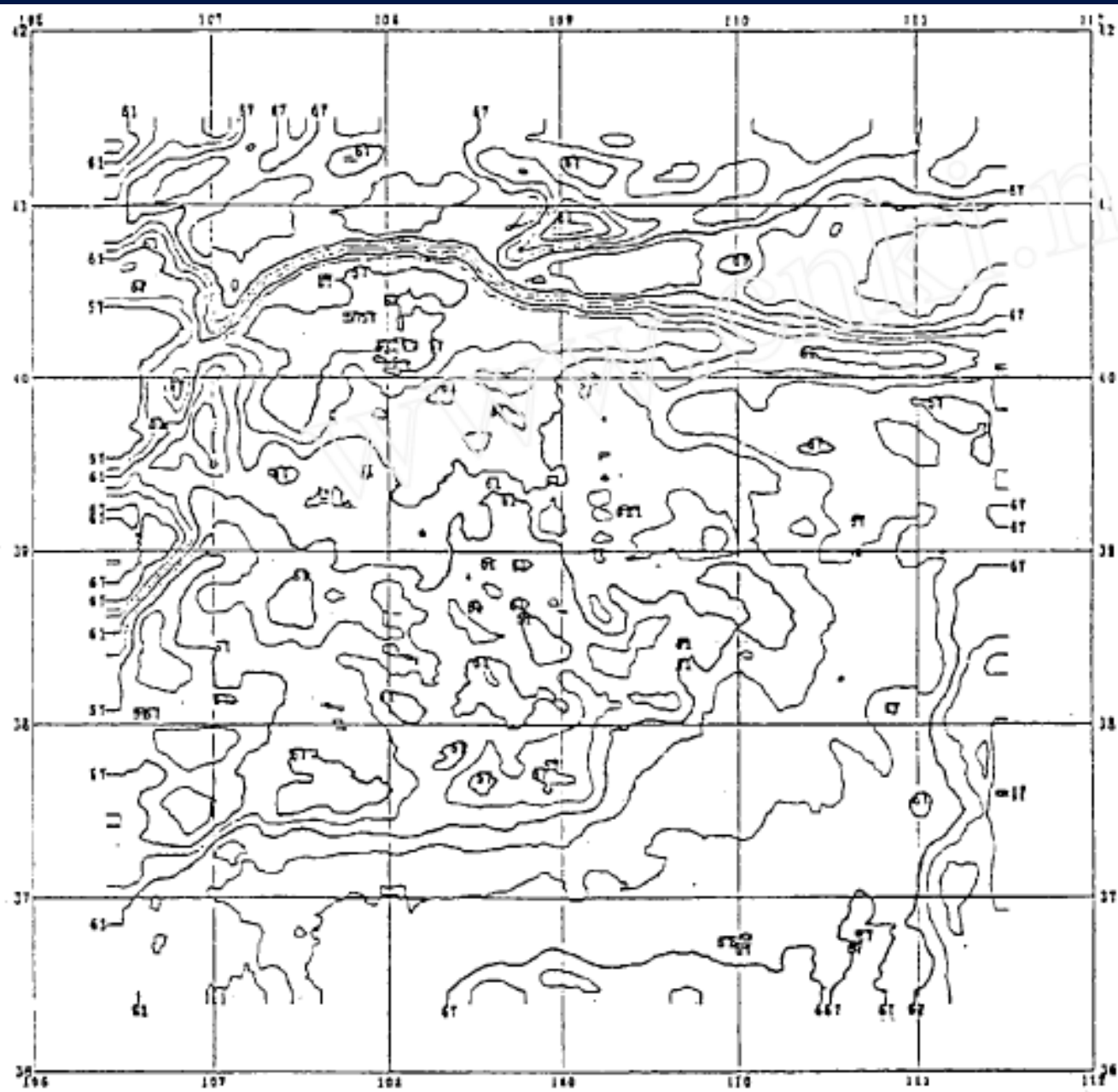


图 4 CH3 的地面发射率等值线图

图 2 右上部分和右下角部分的高值区是地面积雪的效果, 农业区如河套、宁夏、土默川等地表现出另一高值区, 沙漠、沙地如乌兰布和、毛乌素、库布齐等表现出相对低的发射率, 黄土地区表现出次高的发射率, 如图中 0.95 等值线所围区域; 黄土、沙地等几种土地类型交织的区域表现出次低的发射率

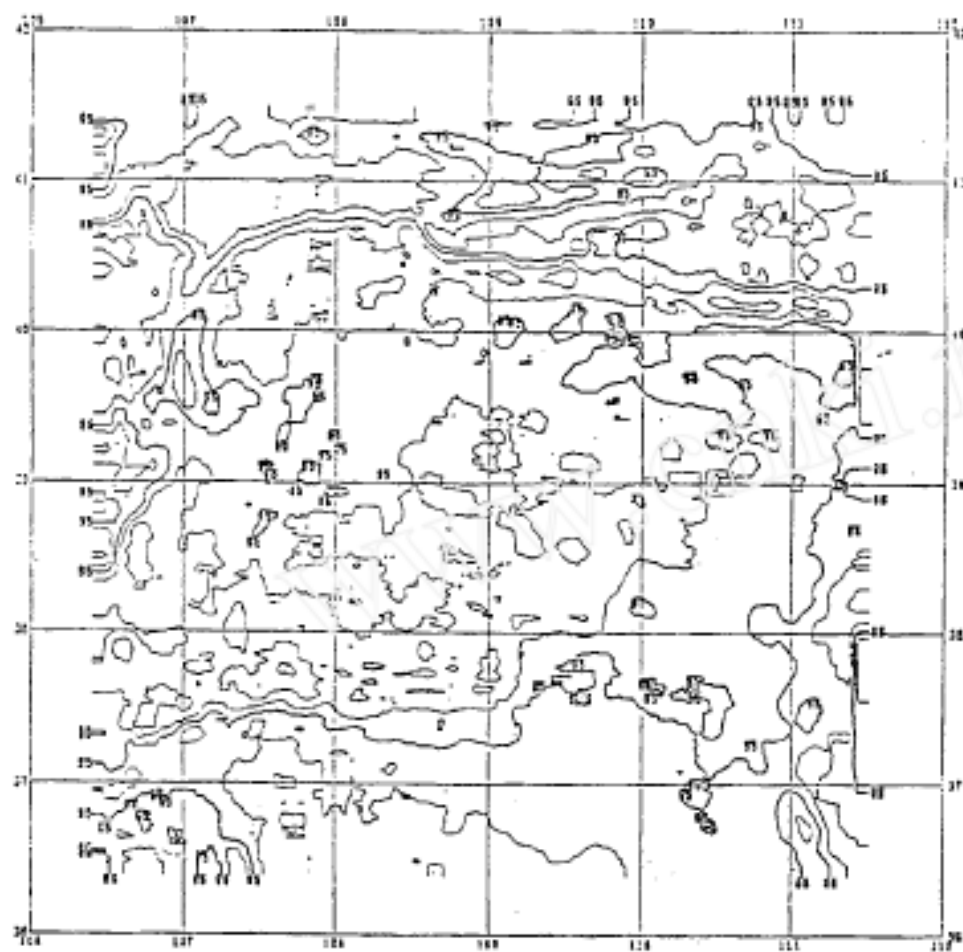


图 2 CH5 的地面发射率等值线图(图上数字为小数两位)

$\epsilon_1$  的等值线图类似于  $\epsilon_3$ , 因为数据值域相对集中, 且等值线仍取 0.01 间隔. 图中  $\geq 0.93$  的线划出了雪盖区和农耕区, 0.89 的线划出了沙漠的位置, 0.90 线划出了沙地、荒漠以及贫瘠农业区交织区的大体界限.

比较图 2 和图 3 可见,  $\epsilon_3$  的数值要略高于  $\epsilon_1$ , 这与文献介绍的这两个波段的发射率性质是一致的. 同时图 2 和图 3 所表现的地面类型分布和计算区域的地表类型状况是一致的.

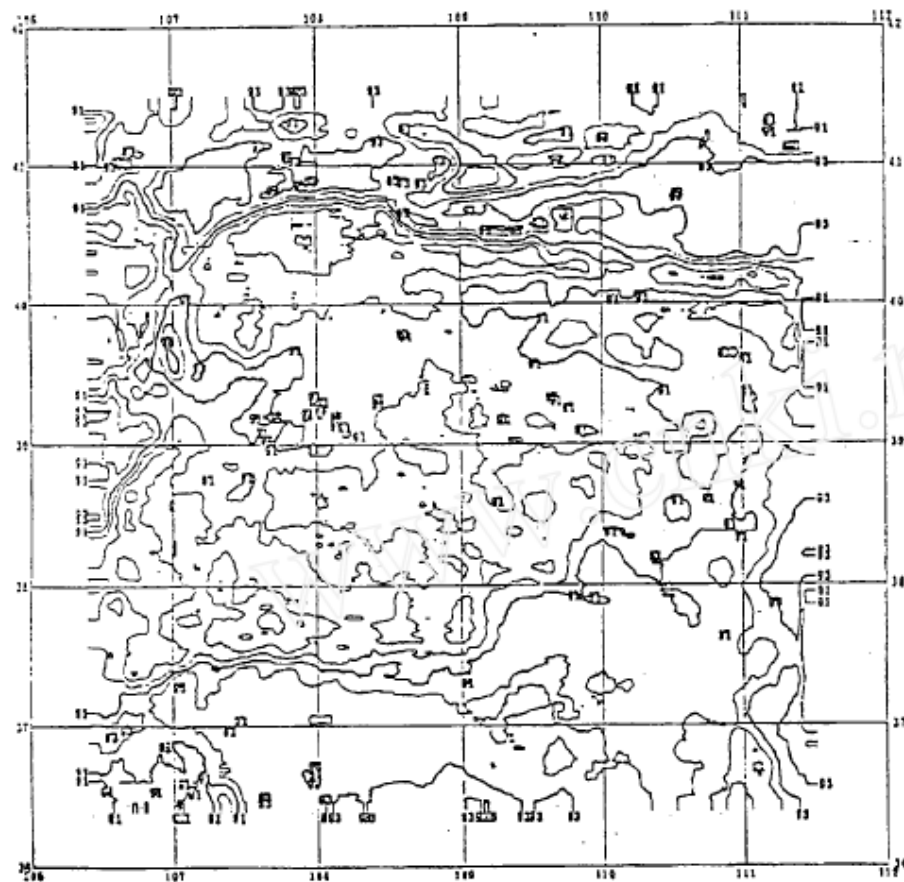


图 3  $\epsilon_1$  等值线图

图 4 中 0.57 的等值线所包围的面积分别有乌兰布和沙漠,库布齐沙漠和毛乌素沙地,沙地的中心分别有 0.55 的闭合图. 这些低值中心很好地反映了沙漠的位置和界限,也反映了干燥沙土具有较低发射率的特点. 0.61 线所围区域反映了干旱的荒漠草原; 0.63 线所表示的荒漠草原干旱程度相对轻,在 0.61—0.63 等值线所包括的面积里间杂有耕地,这里降水稀少,年雨量一般在 300mm 以下,蒸发强烈,土质沙化和盐化严重. 鄂尔多斯高原大部处在 0.63 线界内,其间也有多处零散的 0.57 等值线所围的小块面积,多为风蚀或流水剥蚀的沙性丘陵. 0.63 线右侧区域主要是具有明显黄土地貌特点的土地覆盖类型. 发射率  $\geq 0.67$  的区域主要为雪覆盖地区,象阴山、吕梁山脉的积雪区,河套农业区,宁夏农业区,土默川等地同样也呈现了较高的发射率.  $39.5^{\circ}\text{N}$ — $40^{\circ}\text{N}$ ,  $109.5^{\circ}\text{E}$ — $110.5^{\circ}\text{E}$  附近区域受积雪以及融雪的影响,原来的沙性丘陵—荒漠草原地表类型出现了 0.65—0.67 的发射率.

不同区域等值线图代表不同地貌单元  
同时与地下隐伏构造是有关联的!





### (3) 地面温度计算

有 $\epsilon$ 值了就可求地面温度，并做出伪彩色地面温度分布图（略）。分析结果：

白天热红外遥感温度图上紫红色的温度为 308—313K，红色为 303—307K，黄色为 299—302K，绿色为 293—298K，兰色为 282—292K。

凌晨热红外遥感温度图上紫红色的温度 276—281K，红色为 271—275K，黄色为 267—270K，绿色为 261—266K，兰色为 250—260K。

### (4) 计算温度误差分析（略）



表4 实测地面温度和计算地面温度的比较

站名	日期 T <sub>值</sub> ℃	1991.4.1 (凌晨,夜间)				1991.4.1 (白天)			
		实测	计算	差值	相对误差%	实测	计算	差值	相对误差%
临河		-3.9	-3.7	+0.2	+5.12	31.6	28.8	-2.8	-8.86
惠农		-7.0	-3.2	+3.8	+54.29	35.0	32.3	-2.7	-7.71
陶乐		-6.8	-6.8	0.0	0.0	35.5	35.3	-0.2	-0.01
环县		-5.1	-3.7	+1.4	+27.45	25.6	24.8	-0.8	-3.13
鄂托克		-6.1	-6.1	0.0	0.0	27.9	29.8	+1.9	+6.81
定边		-4.2	-5.2	-1.0	-23.81	29.5	32.8	+3.3	+11.19
吴旗		-3.7	-3.7	0.0	0.0	20.9	26.8	-0.1	-0.00
杭锦		-7.1	-7.1	0.0	0.0	30.8	30.2	-0.6	-1.95
横山		-4.8	-4.7	+0.1	+2.08	28.3	28.3	0.0	0.0
延安		-2.7	-2.2	+0.5	+18.52	30.3	28.8	-1.5	-4.95
包头		-4.7	-4.7	0.0	0.0	29.0	28.8	-0.2	-0.01
东胜		-5.0	-5.0	0.0	0.0	17.3	23.3	+6.0	(+34.68)
伊金霍洛		-6.3	-6.3	0.0	0.0	23.1	27.8	+4.7	(+20.35)
榆林		-4.3	-4.3	0.0	0.0	30.8	30.8	0.0	0.0
绥德		-4.4	-3.8	0.6	+13.64	28.0	28.3	+0.3	+1.07
河曲		-3.4	-3.3	+0.1	+2.94	26.5	26.5	0.0	0.0
兴县		-3.9	-3.9	0.0	0.0	33.5	34.8	+1.3	+3.88
离石		-5.4	-4.2	+1.2	+22.22	29.8	29.8	0.0	0.0
隰县		-5.1	-5.1	0.0	0.0	32.7	31.8	-0.9	-2.75
盐池		-2.8	-5.7	-2.9	-103.57	30.9	30.9	0.0	0.0
均方差 $\sigma$					$\sigma_{20}=1.17$				$\sigma_{18}=1.44$

## 8. 热红外遥感构造地质解译

图 5 中紫红色和鲜红色最高温反映太古界和元古界的隆起,在高原北部它分布在伊盟北部隆起内,在东部它分布在榆林隆起内,在西部分布在毛乌素沙地西部至都思兔河间地区。黄色中温区表示古生界和中生界分布,它分布在百眼井—伊金霍洛东西向带内,在杭锦旗处该带略向北伸出。在高原南部它分布在大水坑—绥德东西向带内,在东部分布在米脂拗陷内。绿色低温区表示中生界和新生界,它分布在杭锦旗以东至东胜的东西向带内,以及北纬  $37^{\circ}20'$  以南的广大地区,淡兰色温度最低是雪的反映。不同温度带间明显的线性是大断裂的反映,这样的大断裂带走向东西的有达拉特旗以南断裂带、东胜以北断裂带、百眼井—伊金霍洛断裂带、大水坑—绥德断裂带。北东至北北东走向的有山、陕交界的黄河断裂带、神木—横山断裂带、乌审旗断裂带、由数条断裂组成的鄂托克旗—杭锦旗断裂束。高原中部乌审旗一带以红色为背景其上叠加了北西方向黄、绿色细带的宽广地区,应视作古老基底上有古生界、中生界、新生界覆盖的宽缓台向斜。根据这一认识划分出伊盟隆起、东胜拗陷、伊金霍洛断陷带、绥德断陷带、米脂拗陷、榆林隆起、乌审旗台向斜、毛乌素西部隆起几个构造区带(图 7)。

图5是NOAA的热红外遥感影像图,颜色---温度---构造的解译

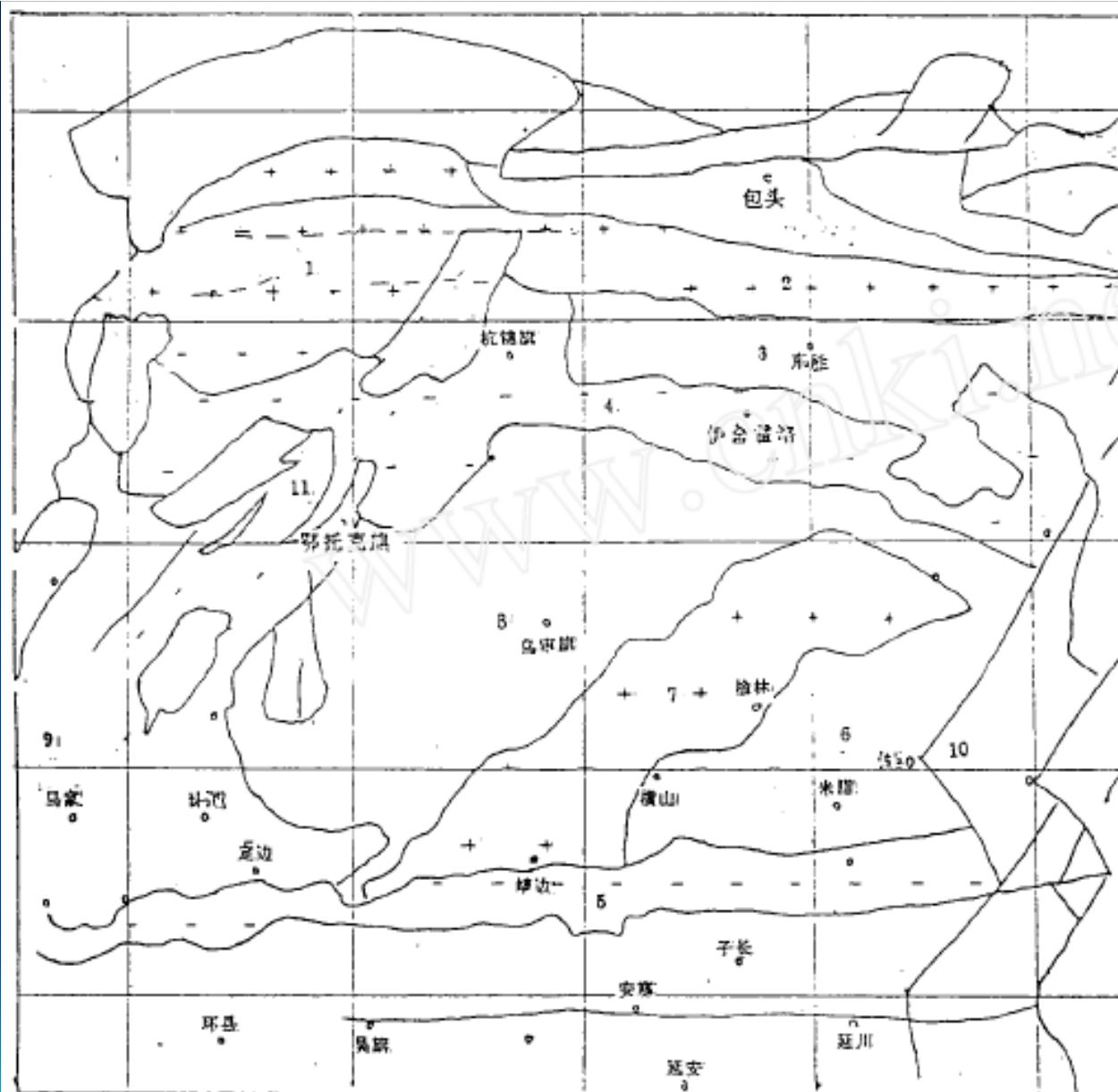


图7 热红外遥感解释地质构造分区图

1. 伊盟北部隆起 2. 乌兰格爾隆起 3. 东胜拗陷 4. 伊金霍洛断陷带 5. 绥德断陷带 6. 米脂拗陷 7. 榆林隆起 8. 乌审旗台向斜 9. 毛乌素西部隆起 10. 黄河断裂带 11. 鄂托克旗—杭锦旗断裂束

## 9. 对地质构造解译的辅证

在地矿部和石油部编的航磁异常平面图和布格重力异常图上均显示伊盟北部为高重、磁异常,呈东西走向的条带状分布,表明古老变质基底隆起,并被东西走向断裂切割(图9,10),这与热红外遥感解释相同。东部的重、磁异常作北东向带状分布,解释为榆林隆起,其东缘的狭窄梯度带是基底大断裂的反映,也与热红外遥感解释相同。热红外遥感图上的大水坑—绥德断陷带在重、磁异常图上未见反应,过去亦少见提到此构造带,1994年张福礼先生等正式提出定边—吴堡东西向构造,正与热红外遥感图像上显示的大水坑—绥德断陷带吻合。毛乌素西部隆起在重、磁异常图上亦无明确显示。杭锦旗—鄂托克旗北东向断裂束过去亦未报导过,重、磁异常图上亦无明确显示。

滕吉文先生近期对地震波的分析指出,鄂尔多斯地区地壳上隆,正常情况下,其上为拗陷盆地。这与中央宽缓台向斜的解释相一致。地震分析还指出山、陕交界的黄河之下是一条北北东向的深大断裂,与热红外遥感温度图上所见佳县以北的北北东走向断裂带吻合。

重力、磁力、地震波吻合!



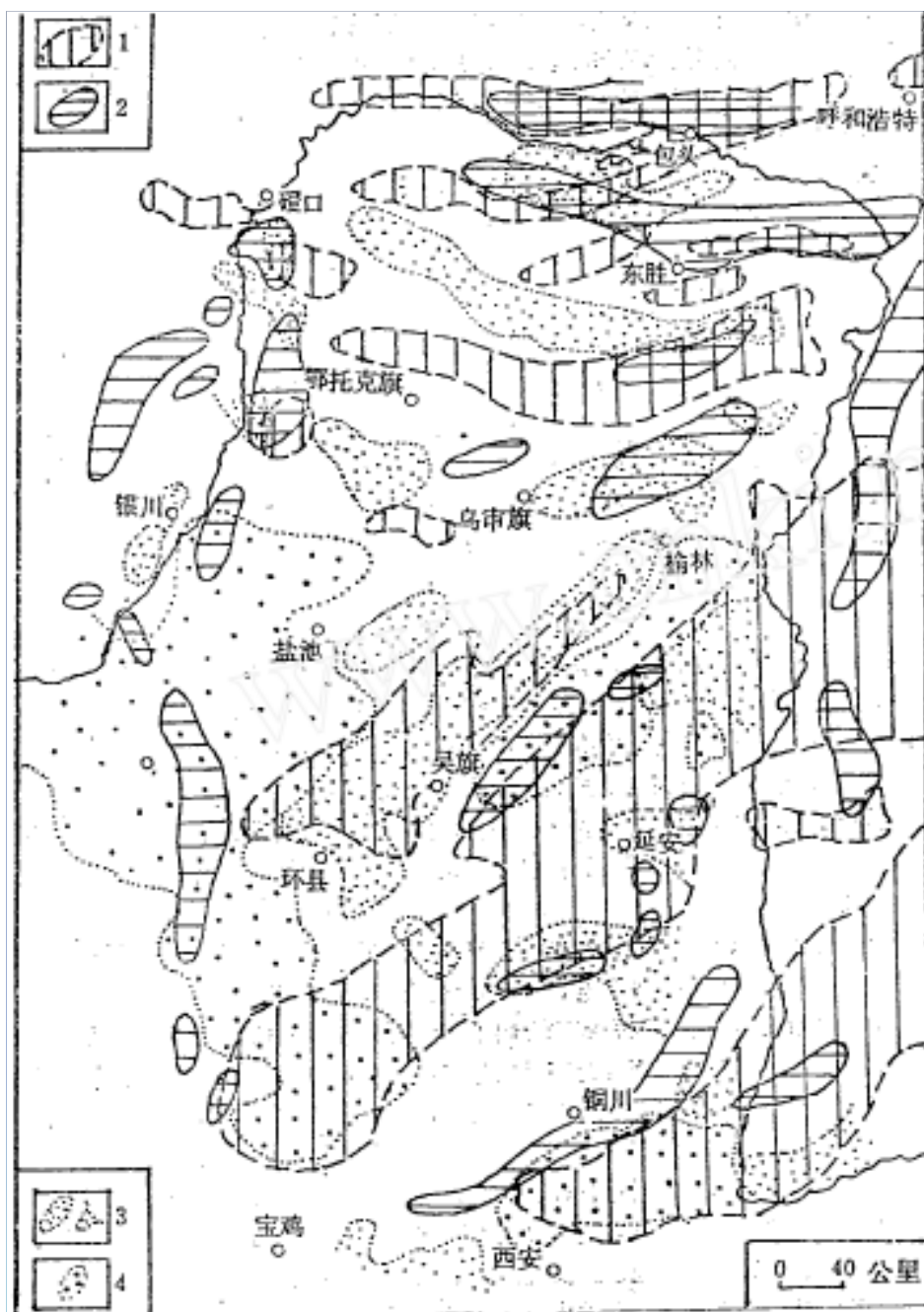


图9 鄂尔多斯盆地剩余重力异常与航磁异常、磁性体最小埋深的叠合图(据张抗 1989)

1. 航磁  $\Delta T$ , 正异常; 2. 剩余重力高; 3. 磁性体最小埋深图上的隆起和鼻状隆起;
4. 磁性体最小埋深: 图上低于海拔-5000m 的地区

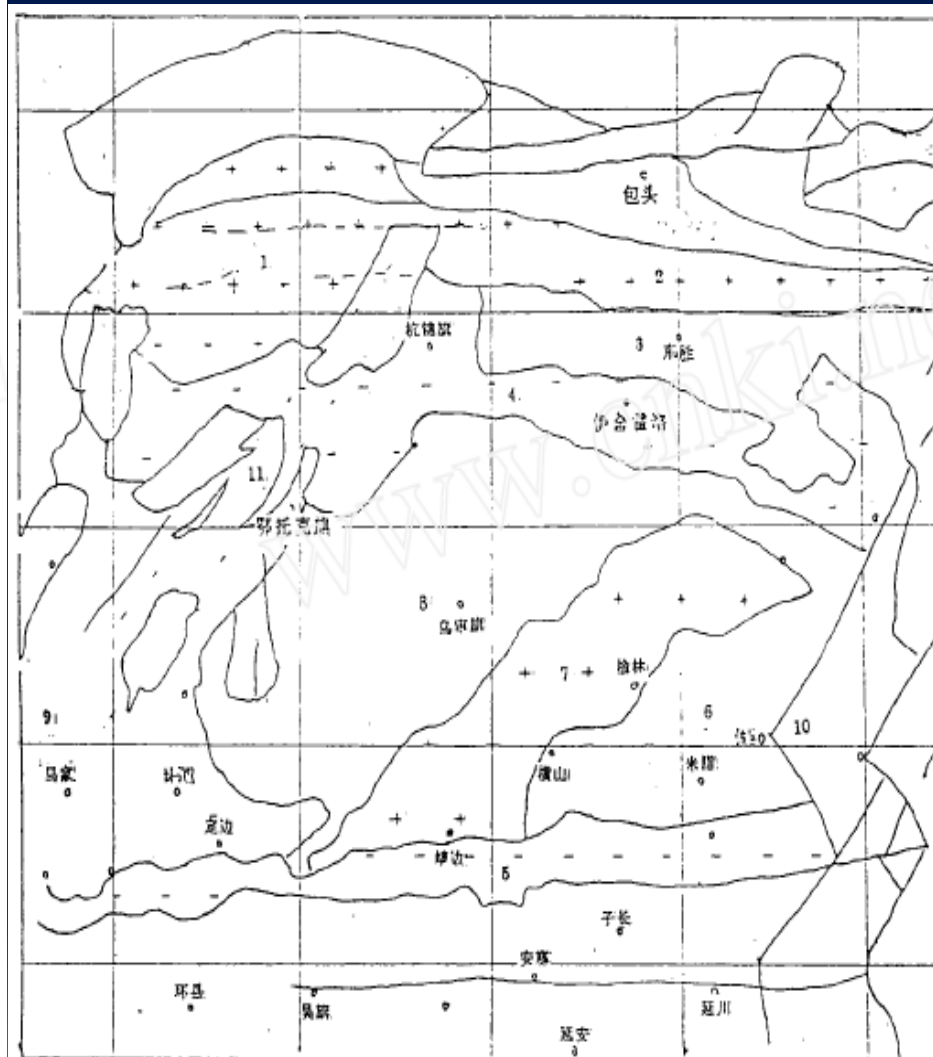


图7 热红外遥感解释地质构造分区图

1. 伊盟北部隆起 2. 乌兰格勒隆起 3. 东胜拗陷 4. 伊金霍洛断陷带 5. 绥德断陷带 6. 米脂拗陷 7. 榆林隆起 8. 乌审旗台向斜 9. 毛乌素西部隆起 10. 黄河断裂带 11. 鄂托克旗—杭锦旗断裂带



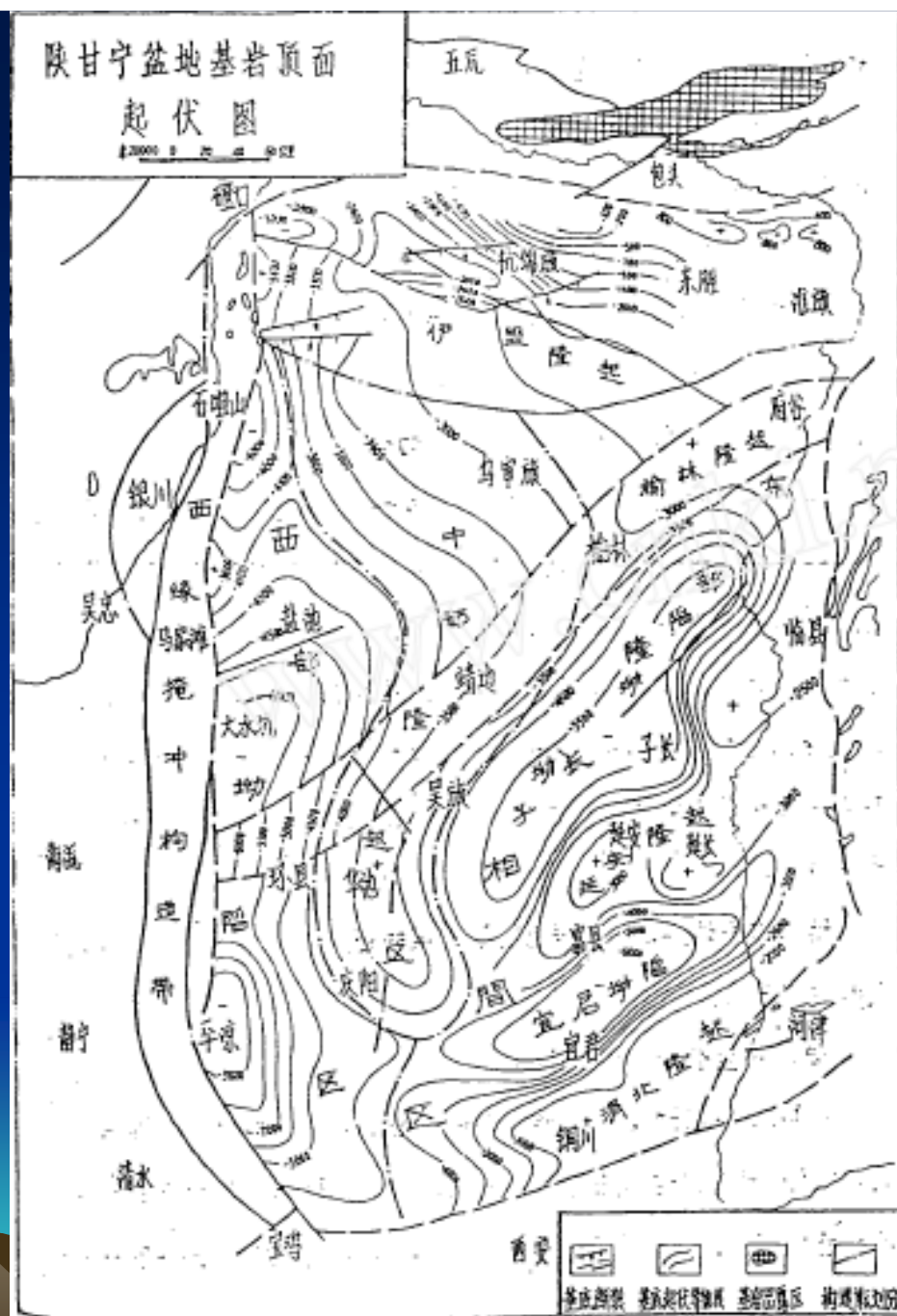


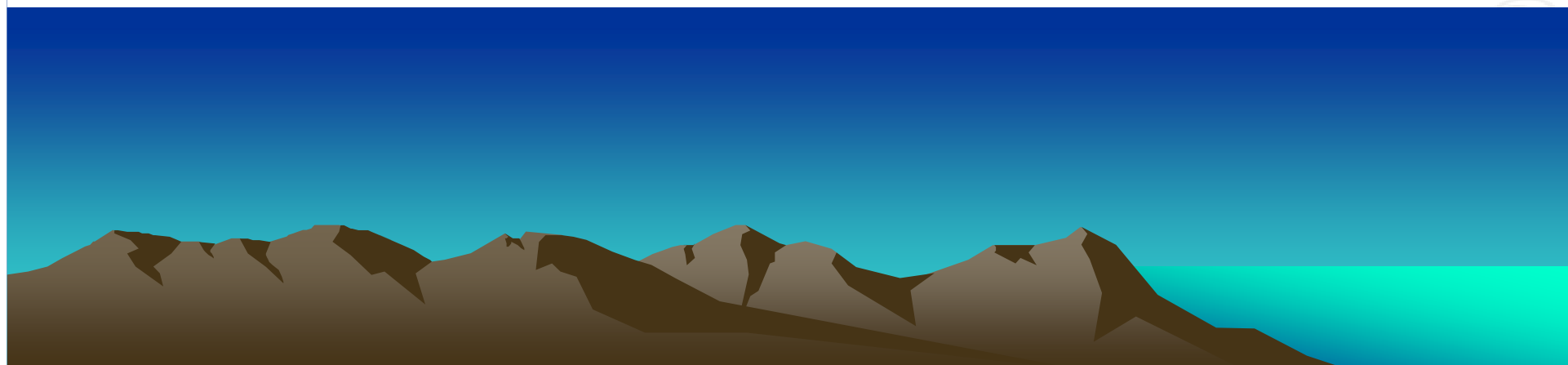
图 10 陕甘宁盆地基岩顶面起伏图(据大庆石油局 1995)



## 10. 结束语:

温度无关热红外光谱指数的计算方法、地面发射率计算方法,分裂窗方法使得可以根据热红外波段遥感数据计算地面温度,作者依据地热学原理对热红外遥感图解释第四系覆盖层下的隐伏地质构造,这一新方法不同于传统地球物理探测地下地质体的方法,在时间、人力、经费和探测面积上都具有优势,今后需不断完善,并加以推广应用.

热红外遥感温度图比较快速、大范围而连续地显示第四系下地质构造格局,对矿产勘探是有益的,在符合应用白天和夜间的热红外遥感图时,它还能显示地表水和浅层地下水的分布,同时能揭示地热资源的分布.



## 第二节、热红外在火山方面的研究

在火山爆发之前，即火山孕育的过程中，会反复出现突发性的**地热异常**，我们常称其为“**点热源**”。不同类型的火山就有不同的地热特征。

火山区所处正是全球板块边界处或其邻近区域，也是全球构造最活跃的地区。



火山的活动最直接的表现是：地热资源的分布！

## ◆ 在地热资源调查中的应用

地热——是地球赋予人类的廉价能源，可分为：水热型（有热水为主和蒸气为主两种类型）、地压型、干热岩型、岩浆型和表层型。



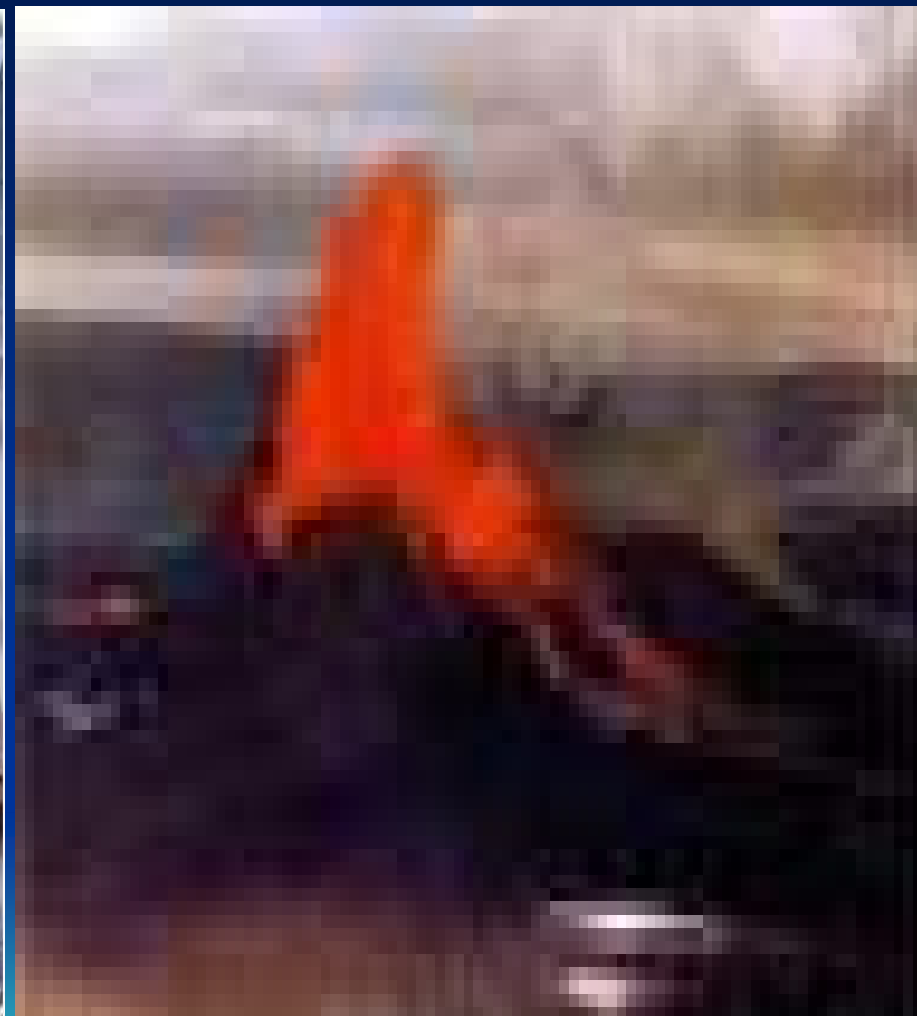
目前能够探明的地热资源有两种：一种是“**水热型**”，即天然蒸气、热水、热卤水等，是目前国内外地热开发利用重点；一种是“**干热型**”，即干热岩体和岩浆等尚处在开发试验阶段，还极少被利用。



水热型



干热型



据估算，整个地球约有 $12 \times 10^{30}$  J热量。  
美国科学家估算过地表10km内所含地热约有 $4 \times 10^{26}$ ，按最低限度其能量相当于全世界煤炭储量总和，这是目前所知的理论地热储量。

我国也是个地热资源丰富的国家

有人估算过，中国的地热资源理论储量相当于2000亿吨标准煤的燃烧量。每年仅通过温泉形式自流带出的热量就相当于380万吨标准煤的燃烧热量。



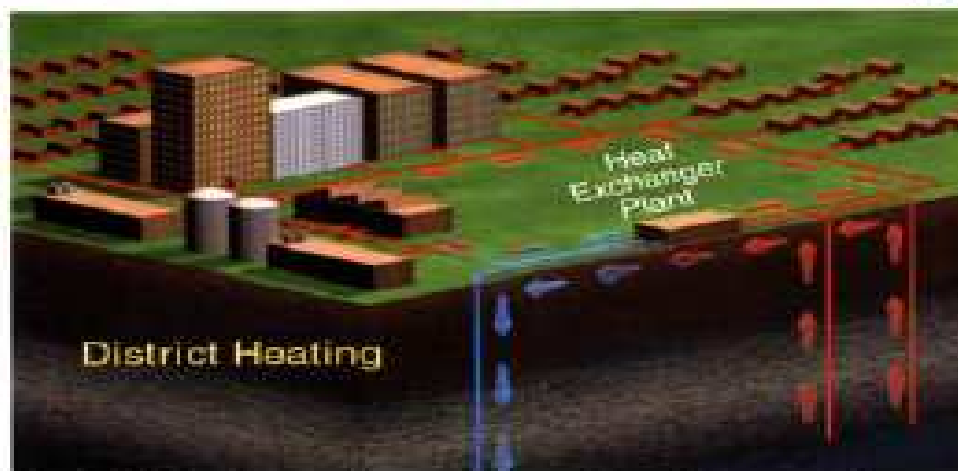
# 地热发电厂

## Clean Renewable Power



Geothermal provides enough electricity for over 2 million homes in the western U.S. Geothermal power plants have no smoky emissions. They give off steam. Air-cooled binary plants have no emissions at all.

## Reliable Efficient Heating



Over 270 U.S. cities could use nearby geothermal reservoirs for district heating and other uses. Geothermal heat pumps, which don't need reservoirs, can be used almost everywhere.



## 火山活动实例分析

如长白山天池火山群处于太平洋板块与欧亚板块碰撞边界西侧 1 300 km 的板缘地区,其火山活动既与板块运动有关,又与板内深大断裂的活动有关。通常,火山区的水热活动以及有限范围内的地下热水出露和其它地表热显示为特点。我国绝大多数地表热显示以单个泉点和泉群的形式出现,少数水热区则有多种类型的地表热显示并存,其中包括沸泉、沸喷泉、间歇喷泉、喷气孔、冒气地面、硫气孔以及水热爆炸等表征水热活动强烈的高温地表热显示。其水热活动强度随远离板块边界而减弱。而这些地表热显示地点正是火山区突发性地热异常的最敏感地点,且一旦发生突发性地热异常,则其升温幅度和异常地热范围将十分显著。

表1 长白山火山区历史火山活动表

Table 1 Historicity of volcanoes in Changbaimountain

火山名称	喷发旋回	喷发时代	岩层厚度(m)
白头山火山	第一期喷发	中更新世早期(Q <sub>1</sub> <sup>1</sup> )	47.8
	第二期喷发	中更新世中早期(Q <sub>1</sub> <sup>2-3</sup> )	329.2
	第三期喷发	中更新世中晚期(Q <sub>2</sub> <sup>3</sup> )	127.4
	第四期喷发	中更新世晚期(Q <sub>3</sub> <sup>1</sup> )	140
	近代喷发	1597、1668、1702年	1.5~2.0

由TM 冬季卫星图像解译各火山口, 结合历史资料统计的主要火山喷发情况, 作火山灾害分布图(图1), 为火山预测预报提供科学依据。



图1 长白山火山灾害分布图

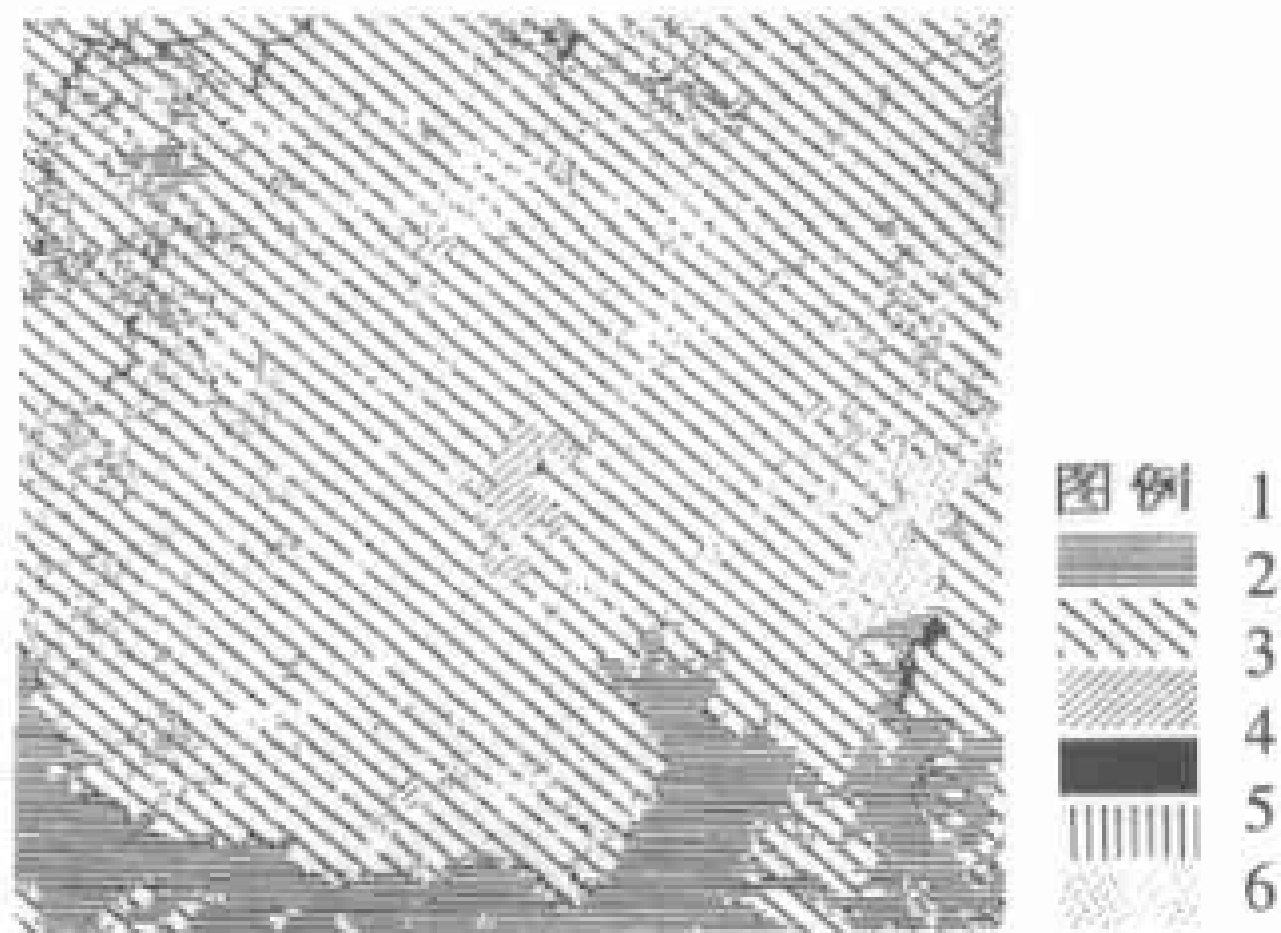


图 2 长白山火山区土地利用现状图

Fig 2 Land utilization in volcano areas in Changbai mountain

1 耕地; 2 森林; 3 草地; 4 水体; 5 建筑用地; 6 裸地

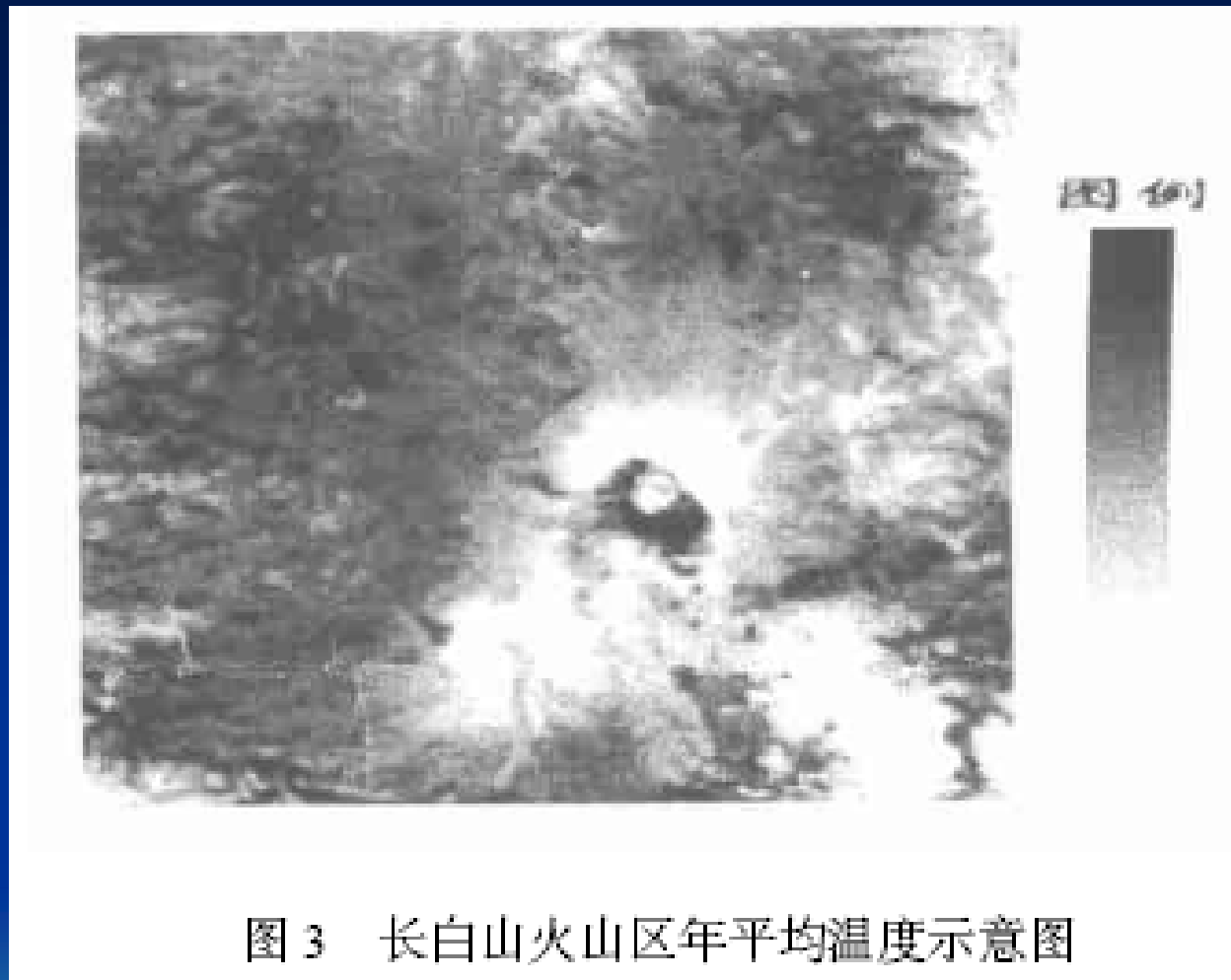
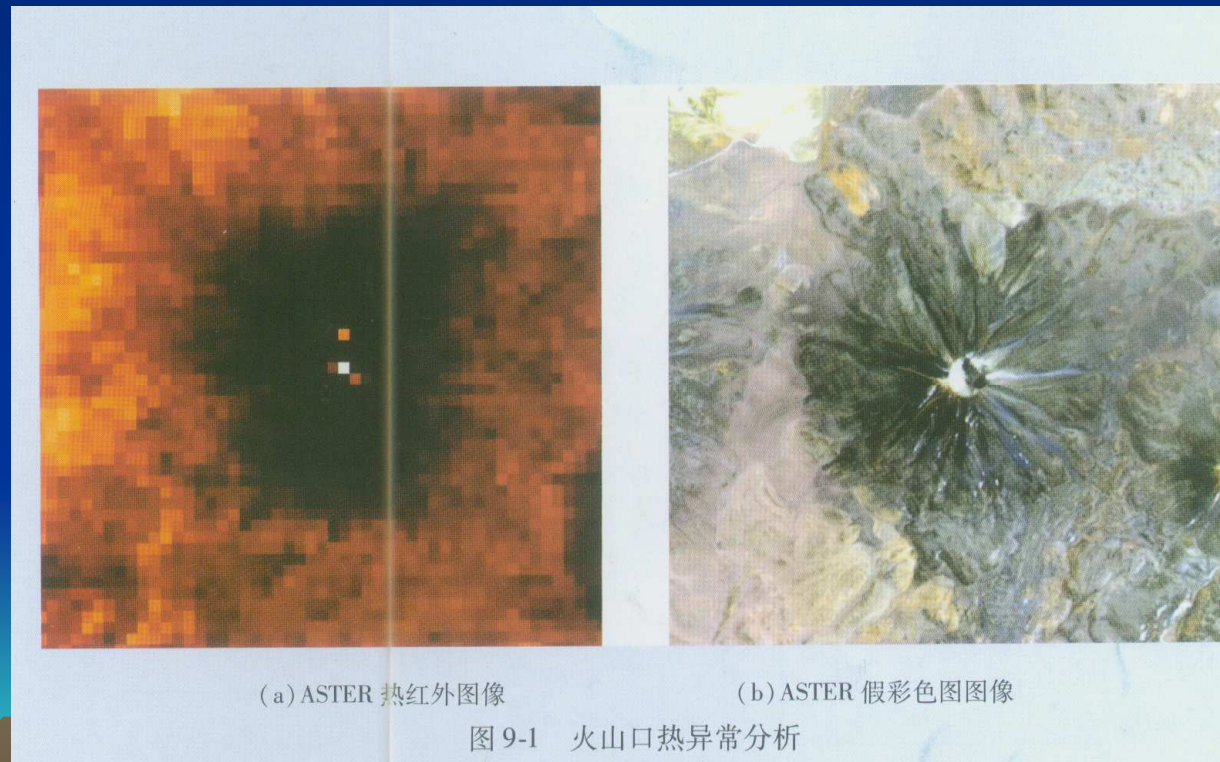


图3 长白山火山区年平均温度示意图

## 火山口热异常分析图

2002年1月6日的ASTER晚间单通道彩色密度分割热红外图。该图是智利的Chiliques火山。在火山口处有一个热点，其周围还有几个热点。Chiliques火山以前是个死火山，高为5778米，是一成层火山，火山口直径为500米。



图中红色为刚果的Nyiragong火山爆发时的熔岩流

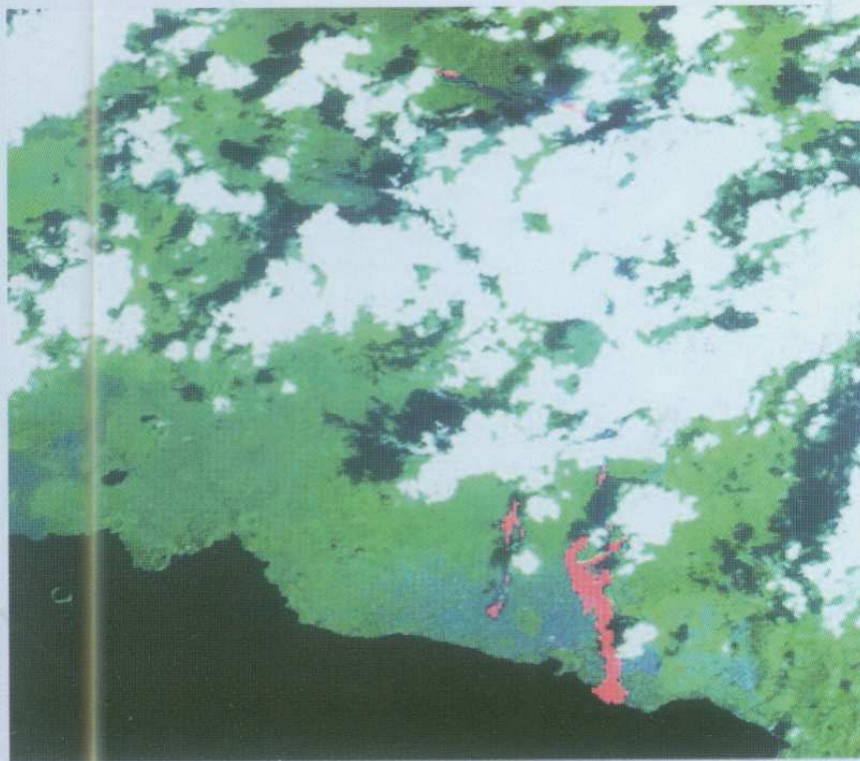
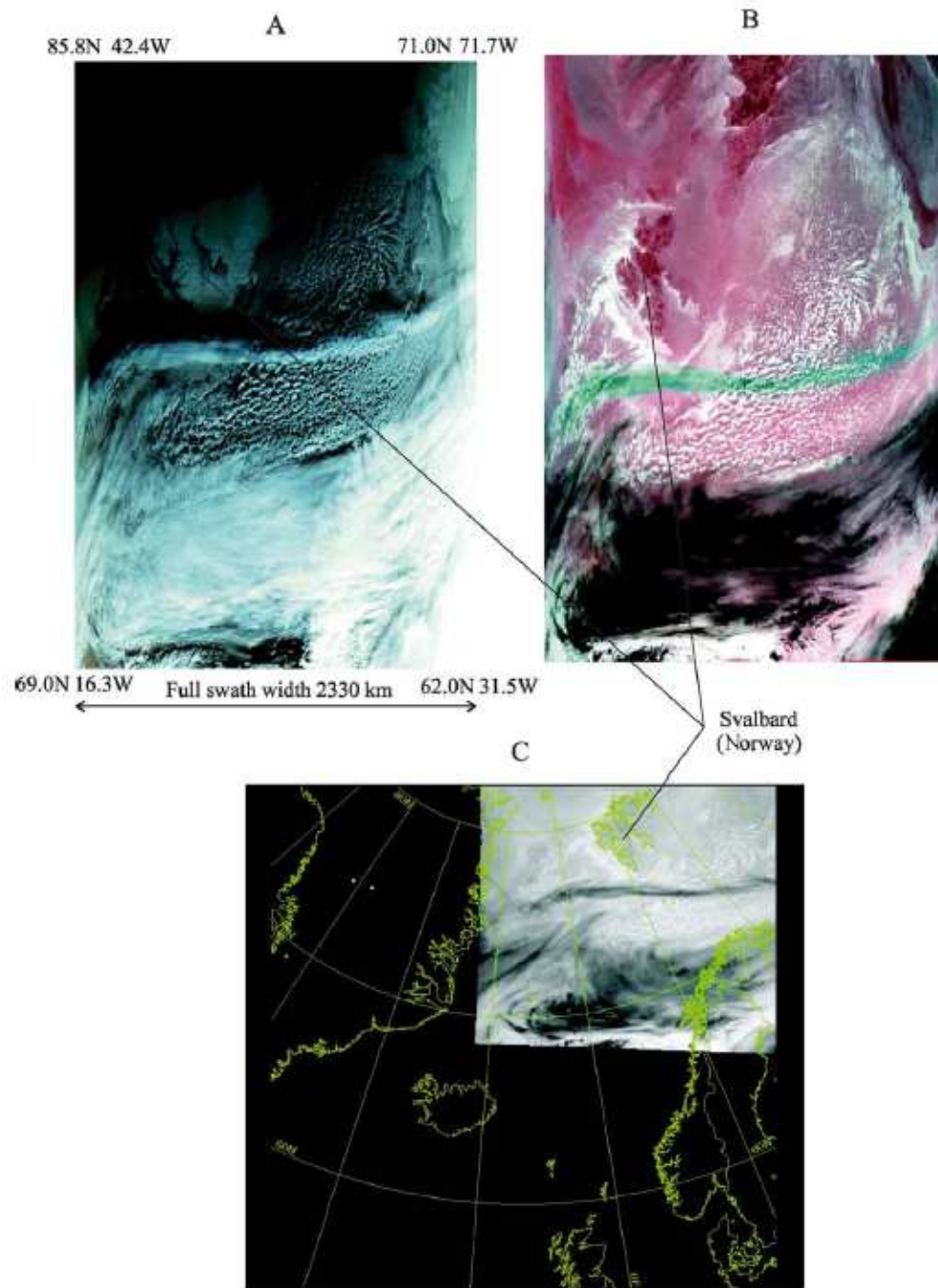


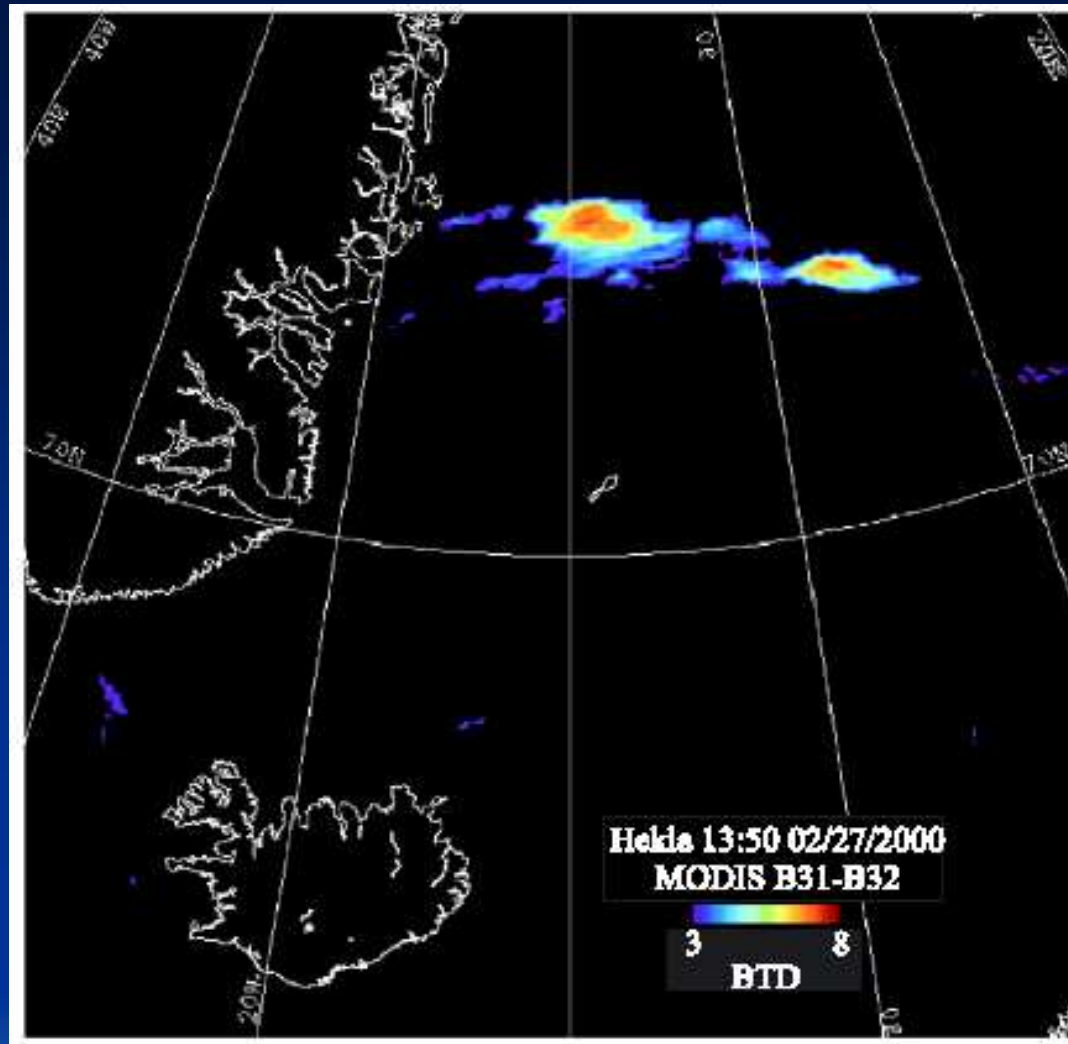
图 9-2 2002 年 1 月 28 日获取的 ASTER 热外红图像





- (A) Channel [1], 0.62– 0.67  $\mu\text{m}$ , MODIS image of the Hekla eruption cloud, acquired at 1115 UT on 28 February 2000 at 250-m spatial resolution;
- (B) the same image as (A) using red– green–blue [28,31,32] composite at 1-km resolution;
- (C) the same image georeferenced—single channel [28]—showing location of  $\text{SO}_2$  cloud relative to geographic boundaries.





Brightness temperature difference map from an image of the Hekla volcanic cloud acquired at 1350UT on 27 February 2000 showing positive BTD values indicative of ice. The total mass of the ice cloud was ca. 200 t.

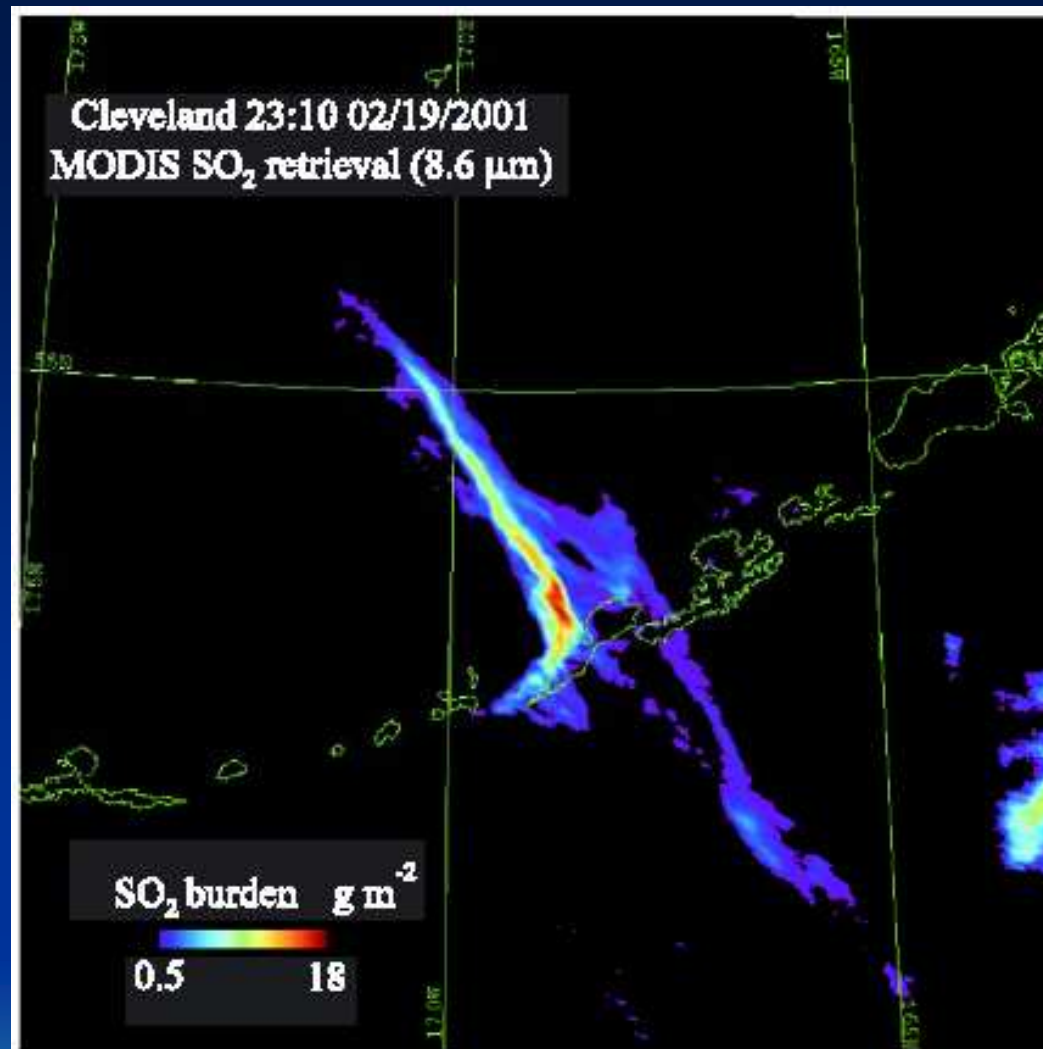


Fig. 5. SO<sub>2</sub> map derived from a MODIS image of the Cleveland volcanic cloud, using the 8.6- $\mu\text{m}$  method, acquired at 2310 UT on 19 February 2001. The total mass of the SO<sub>2</sub> cloud was ca. 60 kt.

文章编号:1000-0690(2001)05-0439-08

# 火山区突发性地热异常热红外传输机理研究

薄立群<sup>1</sup>,徐新良<sup>1</sup>,华仁葵<sup>1</sup>,周德民<sup>2</sup>

(1.中国科学院长春地理研究所,吉林 长春 130021; 2.中国科学院长春分院,吉林 长春 130061)

**摘要:**实验研究证实,在火山喷发前兆期,火山区有明显的突发性地热异常现象。火山区的突发性地热异常特征与火山区的地质构造、火山成因、规模、类型等多种因素有关。火山区突发性地表热异常是热红外遥感监测、预测火山活动的重要标志。从传导、对流等多方面分析了异常区地表升温机制,并在地物体有效辐射的基础上给出了热红外辐射的大气传输方程。热红外辐射在传输过程中受到地表非漫射性等系统噪声和随机噪声的干扰,为热红外遥感监测、预测火山活动提供了理论依据。

**关 键 词:**火山;突发性地热异常;热红外遥感

中图分类号:V557<sup>+</sup>.2 文献标识码:A

### 第三节、煤自燃的热红外遥感监测

煤火是世界各国普遍存在的问题，煤层长期与氧接触造成积热增温，达到燃点；不规范开采等。

地下煤层燃烧——塌陷——沿裂隙裂缝——到达地面——“热异常”（比周围温度高的）

总之煤田火区在发火前、发火中和发火后的较长时间内，地表均伴有持续性的热红外异常。通过研究地表的红外温度分布，可对煤层自燃的面积状态等进行勘测。



## 第四节、热红外遥感用于油气勘查

- 热红外遥感找油机理：主要是以**油气藏烃类微渗漏理论**为依据的。油气田中的烃类以微烃方式沿孔隙和微裂隙垂直向上运移并与周围物质相互作用，在地表和近地表处相对应的形成近似圆形的烃蚀变区，并产生一系列标志。
- 其中在热红外波段范围内（8-14微米），利用遥感数据能提取热异常标志，这主要是由于烃类物质渗漏至地表或近地表后改变了地表物质的理化形状，是地表物质热导率降低，热容量增加或者由于氧化热所致。一般温度比周边地区高出1-3度。





# • 烃微渗漏地表异常信息机理

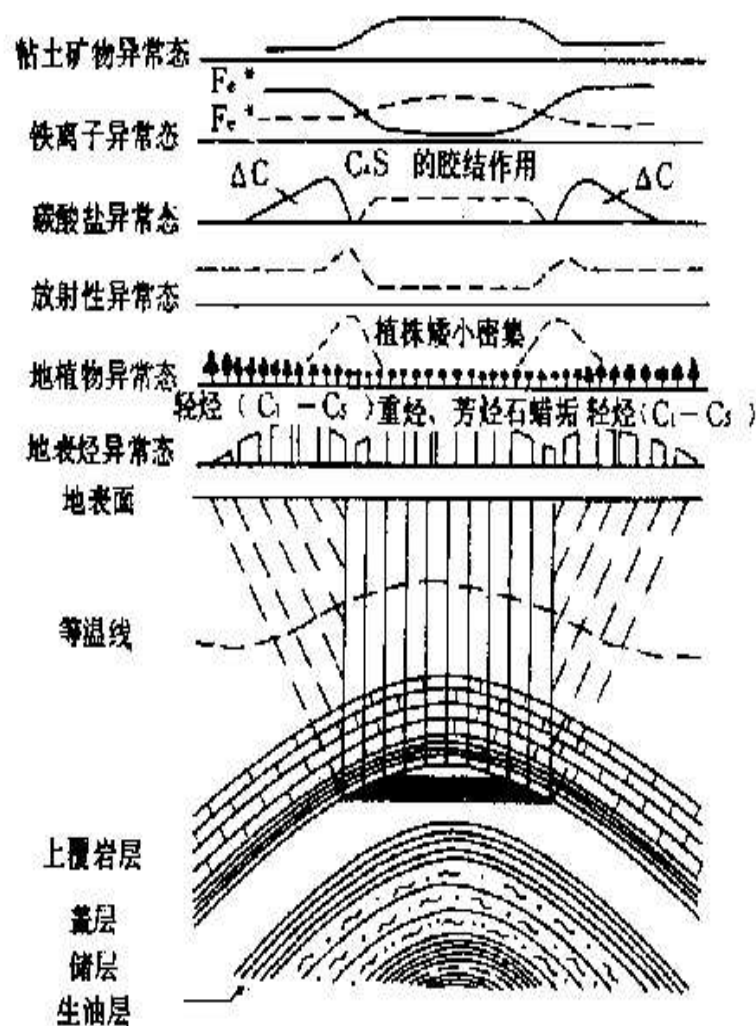
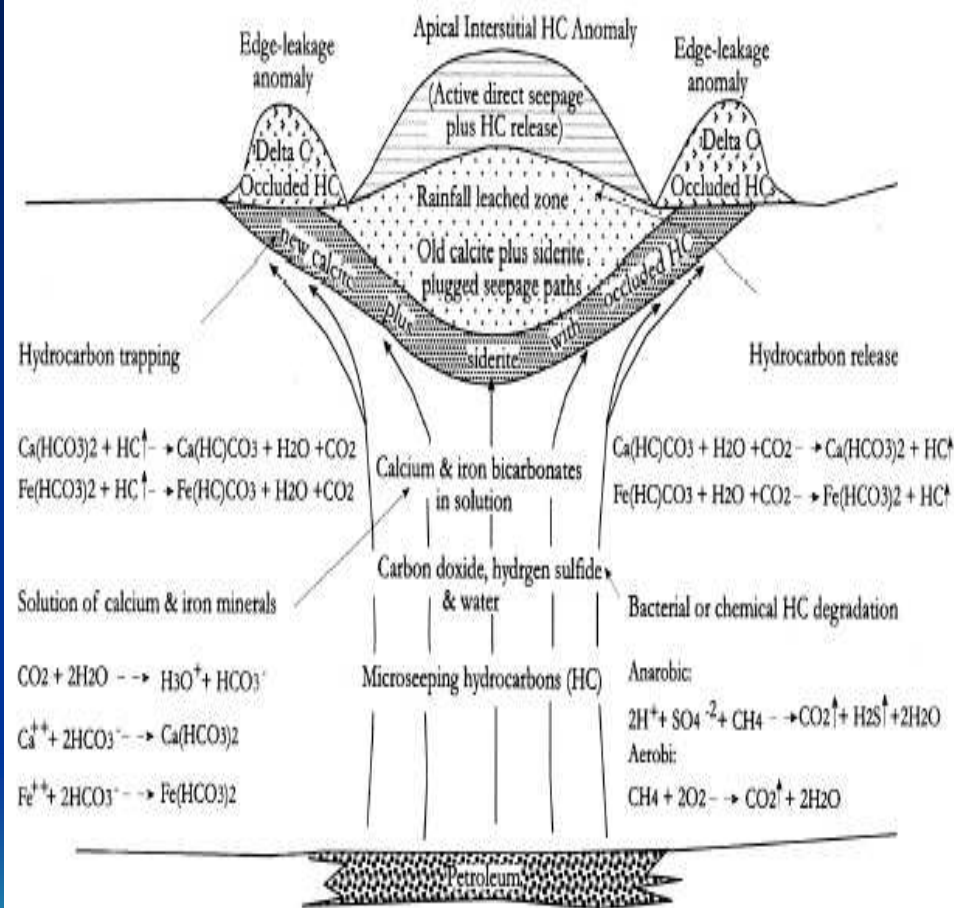


图 2 油气藏烃类微渗漏模型



Possible model for edge-leakage soil hydrocarbon & delta C anomalies  
(after Saunders *et al.*, 1999)

- **热异常晕**：油气藏上置地层中存在地地温升高可 $1-3^{\circ}\text{C}$ 。

➤ 西班牙2000年利用198个波段的TEEMS高光谱遥感图像成功地通过圈定烃微渗漏引起的地表和热异常，寻找到地下油气藏。



Figura 7.- Anomalia termal de 1er Orden, Area II

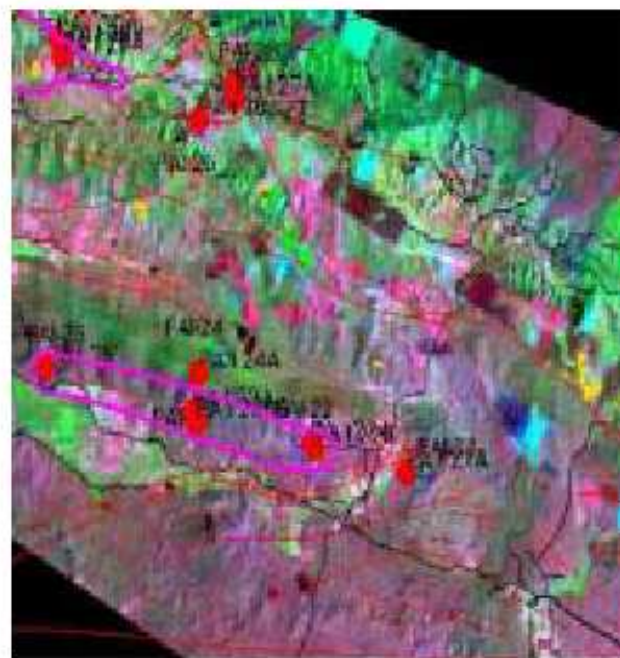
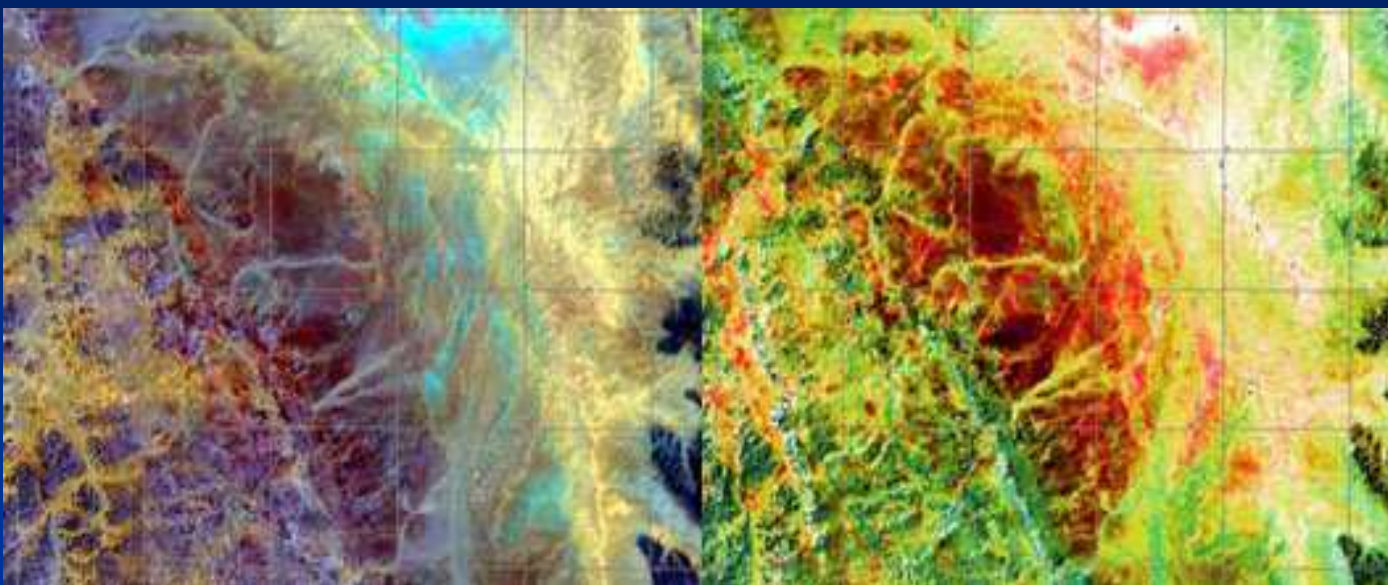


Figura 6.- Mosaico Imágenes Ópticas, Area I

亮色为热异常信息

红色为热异常信息





油气藏热信息图象（阿拉伯）

文章编号: 1007-4619 (2003) 02-0142-04

## 热红外遥感找油的时效性研究

黄秀华<sup>1</sup>, 李正文<sup>2</sup>, 关燕宁<sup>1</sup>, 荆林海<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101; 2. 华北石油勘探开发研究院, 河北 任丘 062552)

**摘 要:** 油气藏烃类微渗漏所造成的热异常信息, 是油气遥感勘探中最直接和最具普遍意义的标志, 对该标志的识别和时效性的研究, 具有广泛的实践意义, 并可以发挥出巨大的经济效益。在中国内蒙古二连盆地已知油田上方, 选择了勘探开发前期二个时相和勘探开发后期一个时相的遥感数据与该区油气化探数据进行定性和定量的复合分析, 指出了热红外遥感找油的最佳时机。

**关键词:** 热红外遥感; 油气勘探; 时效性

**中图分类号:** TP79

**文献标识码:** A



# 1 热红外遥感找油与油气化探找油机理

## 1.1 热红外遥感找油机理<sup>[1]</sup>

热红外遥感找油机理,主要是以油气藏烃类微渗漏理论为依据的。油气田中的烃类以微烃方式沿孔隙和微裂隙垂直向上运移并与周围物质相互作用,在地表和近地表处相对应的形成近似圆形的烃蚀变区,并产生一系列标志。其中在热红外波段(8—14 $\mu\text{m}$ )范围内,利用遥感数据能提取热异常标志,这主要是由于烃类物质渗漏至地表或近地表后,改变了地表物质的理化性状,使地表物质热导率降低,热容量增加或者由于氧化热所致。一般温度比周边地区高出1—3 $^{\circ}\text{C}$ ,在油气藏上方存在近似圆形的烃蚀变区,反映在热惯量等密度分割图像上,等密度常常呈环状分布,其热惯量值分布具有中心部位向四周递减特点,且递减变化梯度小,依据此图像的谱型特征圈划油气勘探远景区,能取得很好的效果。因此,该标志在油气遥感勘探中是最直接和最具有普遍意义的标志。

## 1.2 油气化探找油机理<sup>[2]</sup>

油气化探找油机理是基于油气藏中热成因烃类气体及伴生物,在扩散作用,渗透作用和盆地深部水对烃类的垂直搬运作用下,不断地向地表渗溢,人们借助于精密分析仪器检测这些微油气苗及其产物,从而获得地下油气藏的信息。

油气化探结果,可获取与深部油气相关联的近地表不同级次的丰度值,一般在区域化探中,高丰度背景可用于圈定油气聚集带;局部异常可用于圈定油气勘探靶区。

由此可得出,热红外遥感找油与油气化探找油,其机理都是依据油气微渗漏理论,它们指示找油的关系是正相关关系,即油气化探高丰度值区与热红外遥感高值区常常可以吻合或吻合很好。

## 2 研究区的石油地质条件评价

本研究选择了内蒙古二连盆地阿南和吉尔嘎朗图 2 个凹陷(已知油田)作为 2 个样区。

### 2.1 阿南凹陷含油气性评价<sup>[3]</sup>

1988 年初在该区开展了化探测量,控制测点 1000 个,检查点 50 个,按网度  $1\text{km} \times 1\text{km}$  采样,采样深度 1.3—1.5m。

实测结果经华北石油专家组验收认为<sup>[4]</sup>:“整个化探结果取得了较好的效果,尤其是壤气汞、热释汞等与已知油田吻合较好,吸附烃的湿度比、紫外光谱的轻重比对浅气层有明显的效应,并指出了油气异常的远景区”。

### 2.2 吉尔嘎朗图凹陷含油气性评价<sup>[3]</sup>

1988 年在该区也开展了化探测量,控点测点 1000 个,网度  $1\text{km} \times 1\text{km}$ (部分测网为  $0.75\text{m} \times 1\text{m}$ )布点采样,采样深度 1.3—1.5km。

实测结果经华北油田专家组验收认为<sup>[5]</sup>:“化探结果预测了本区含油气远景区,特别在该凹陷西部次洼处发现有几处油气显示异常区”。

### 3 多时相 NOAA 数据与专题图的选择和处理

#### 3.1 NOAA 数据的时相选择和处理

按照石油部门的勘探流程,化探测量经常会安排在新区勘探和开发前期或初期进行。阿南凹陷(下称一号样区)和吉尔嘎朗图凹陷(下称二号样区)都是在 1988 年开展化探测量工作,为了比较勘探开发前期和后期热红外遥感找油的应用效果,本研究特选用 1989 年 5 月、1990 年 5 月和 1997 年 5 月的遥感数据。将 1989 年 5 月和 1990 年 5 月 NOAA 数据处理的图像作为反映该区油气资源大规模勘探和开发前期地表热红外图像特征;1997 年 5 月 NOAA 数据处理的图像作为该区油气资源大规模勘探和开发后期的地面热红外图像特征;选用 5 月份数据是尽量避免植被的干扰。

### 3.2 表观热惯量的计算与处理<sup>[1]</sup>

热惯量的物理意义,被看作是地表对温度变化产生阻滞的一种物理量,对此概念的引入可以尽量避免由自然地理环境影响和太阳辐射变化的干扰,能较客观的反演地下油气藏存在的可能性。

$$\text{热惯量: } P = (K\rho C)^{\frac{1}{2}}$$

其中:  $K$  为地表物质的热导率;  $\rho$  为地表物质的密度;  $C$  为地表物质的比热。

根据 B. Kalle 定义的热惯量数学模型,

$$P = \frac{\sqrt{Q(1-A)}}{T_{\max}(0, \pi/2\omega) - T_{\min}(0, \pi/2\omega)}$$

其中:  $Q$  为太阳总辐射量(常数);  $A$  为地面反照率;  $\omega$  为地表温度变化周期(24 小时);  $T_{\max}(0, \pi/2\omega)$  为地表最高温度;  $T_{\min}(0, \pi/2\omega)$  为地表最低温度。

地面反照率  $A$  由可见光通道数据计算,地表最高和最低温度由热红外通道数据计算。通过计算获热惯量图像,经假彩色等密度分割,最后得热红外遥感图像。



## 4 多时相 NOAA 图像与专题图空间叠合的时效性分析

依据热红外遥感找油机理,其捕获的信息是与地下油气藏上方烃蚀变区地表状况保持好坏直接有关。为了比较同一地区勘探开发初期或前期与勘探开发后期的应用效果,本研究选用 1989 年和 1990 年的 NOAA 数据作为原始状态保持较好的地表状况,选用 1997 年的 NOAA 数据作为遭受破坏后的地表状况,从两个方面入手进行比较分析,试图从中找出热红外遥感找油的最佳时机。

首先,通过对 1989 年、1990 年和 1997 年 NOAA 数据和专题图的一系列处理与计算,经空间叠合,组合为 6 种图件(图版 I 图 1)。

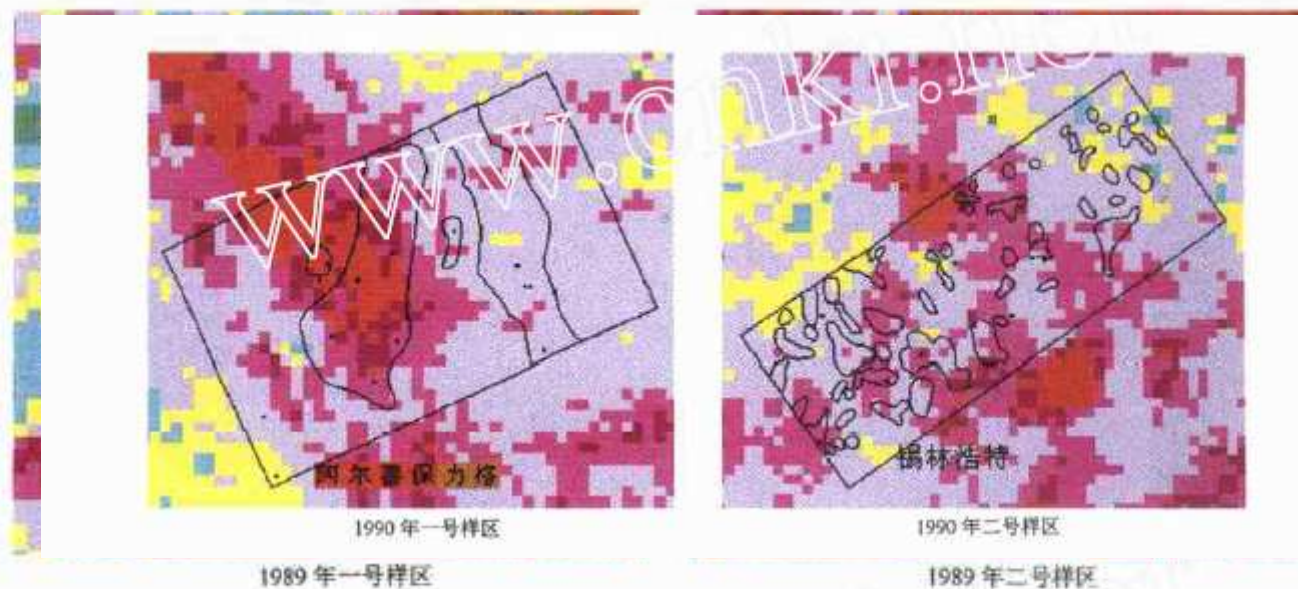
多时相 NOAA 图像经等密度分割处理后,等密度常常呈环状分布,并具有中心部位高值向四周递减的特点,此次处理的图像从色标上可看出分为 8 个等级(色标中蓝色为云层覆盖区),为了便于与其他地区比较,归纳为 5 个等极,由高到低,一等值  $> 10$ ,二等值  $7-10$ ,三等值  $6-7$ ,四等值  $5-6$ ,五等值  $< 5$ 。根据该区目前勘探开发的结果,热惯量一等值至三等值在该区有指示找油意义<sup>[1]</sup>。

黄秀华等：热红外遥感找油的时效性研究

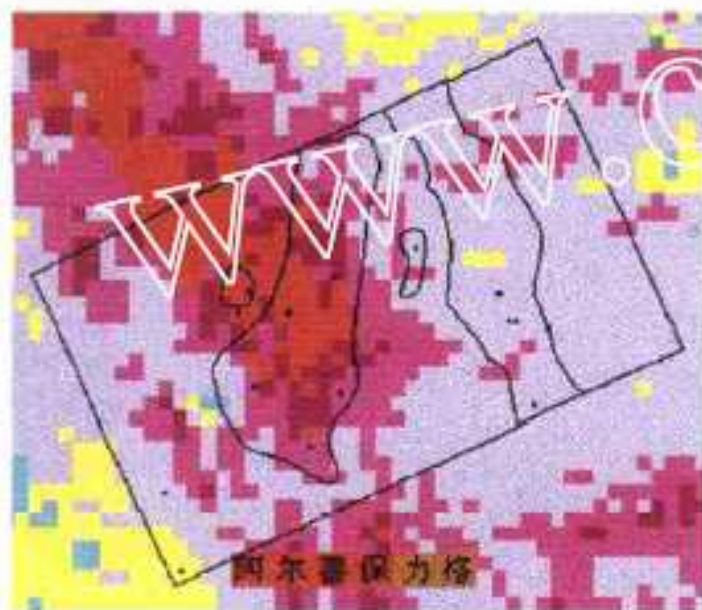
HUANG Xiu-hua *et al.*: Temporal Effectiveness of Thermal Infra-red Remote Sensing Applied to Oil-gas Exploration

图版I

Plate I



## 二研究区化探异常图



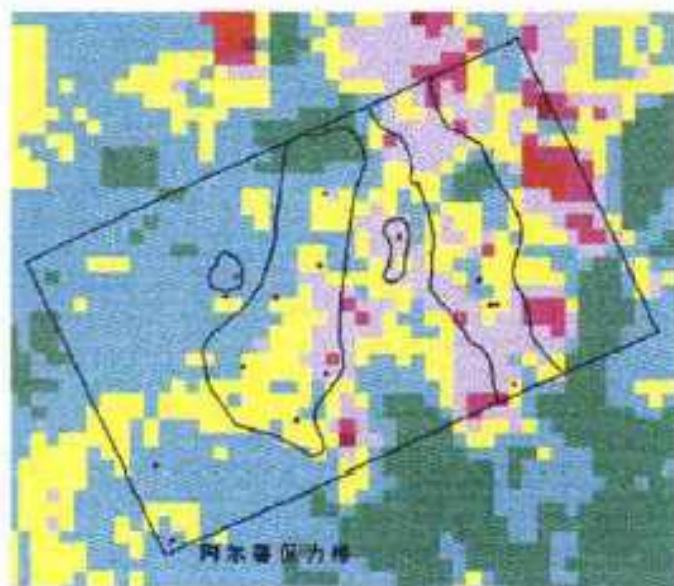
1990 年一号样区



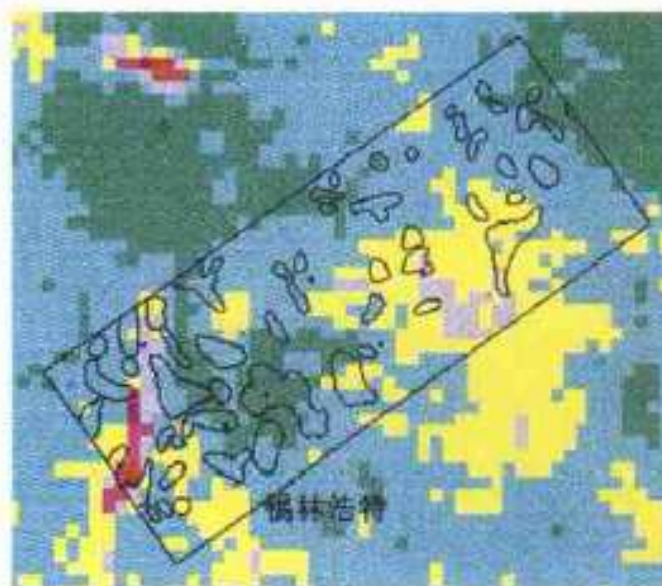
1990 年二号样区

## 二研究区热惯量等密度分割图





1997 年一号样区



1997 年二号样区

图2 热惯量等值与化探异常区块复合图

## ◆ 热红外遥感在探测海上油气资源中的应用

- 与陆上油气遥感直接勘探技术相同, 海洋油气资源的遥感探测机理仍是以油气藏普遍存在的烃类渗漏理论为依据。只不过海上油气藏烃类渗漏受其上方海洋水体的影响, 在海面形成的烃类渗漏标志有所不同, 应用的具体遥感技术手段也因此有所不同。

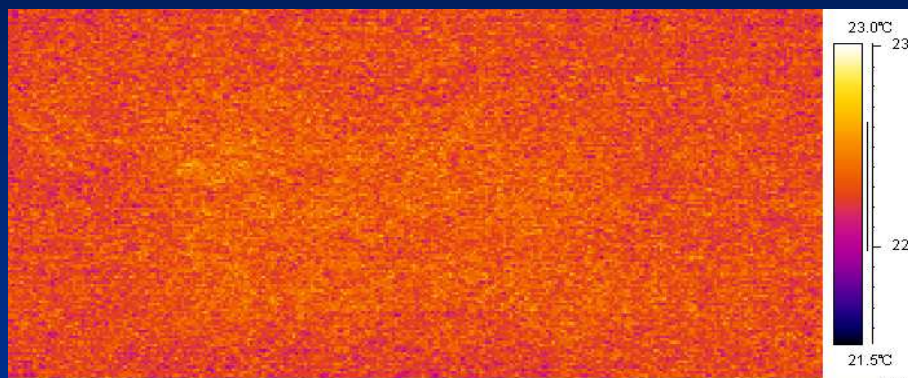


- 无论是对油的勘探还是环境保护，发展一种通过遥感技术来探测海上浮油的可靠的方法都很重要。
- 在勘测上，持续且可再生的海上浮油是海底石油渗漏的特征；而在环境应用上，人为造成的海上浮油的及早发现为我们既是保护日益严峻的生活环境以及确认污染源大有帮助。

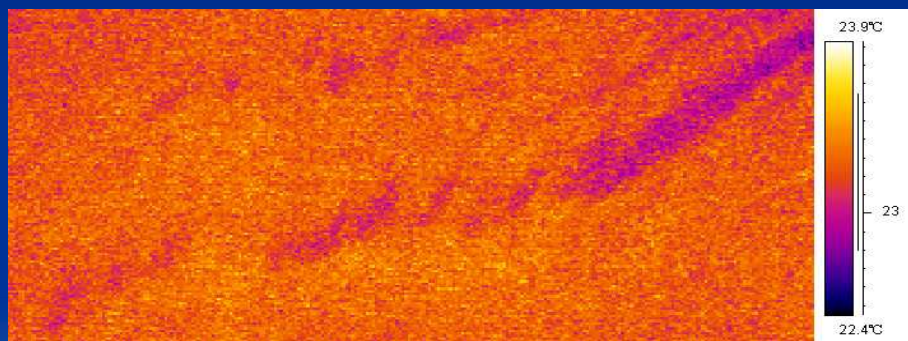


海底渗漏的薄油膜的灰度级要比周围的海水低。水面辐射仅代表表皮温度（0.02mm），厚度一般不会大于0.3mm，其油膜发射率，0.95-0.98；海水约为0.993.

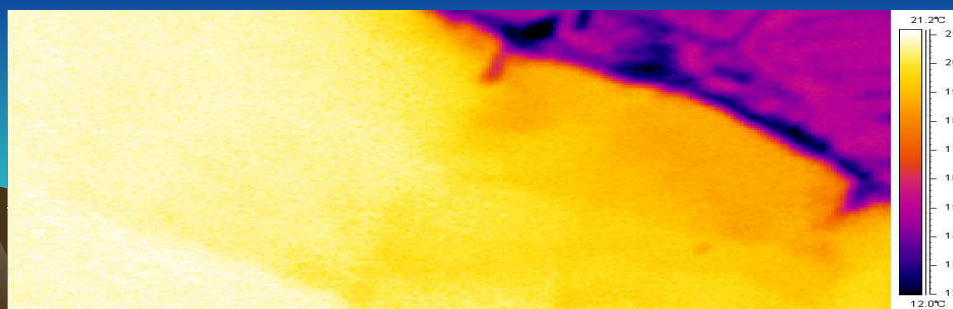
➤ 无油污染海面；



➤ 有油污染海面；



➤ 有油污染的海岸带







珠江口两外轮相撞后在水面形成了一条长长的油带  
(2004年12月7日)



## 方法:

- 在利用遥感探测海上浮油的技术上已经做过了相当多的努力，这些技术利用了几乎整个从紫外到微波的电磁波谱段。
- 一个较为成功的技术是利用紫外线谱段（Maurer and Edgerton, 1976; Camagni et al., 1988），但是大气传输在这个谱段非常弱，以至卫星传感器很难探测到。
- 也有人在可见光及反射近红外谱段做过努力（Deutsch and Estes, 1980），然而不同原油在这个谱段的光谱特征各不相同。



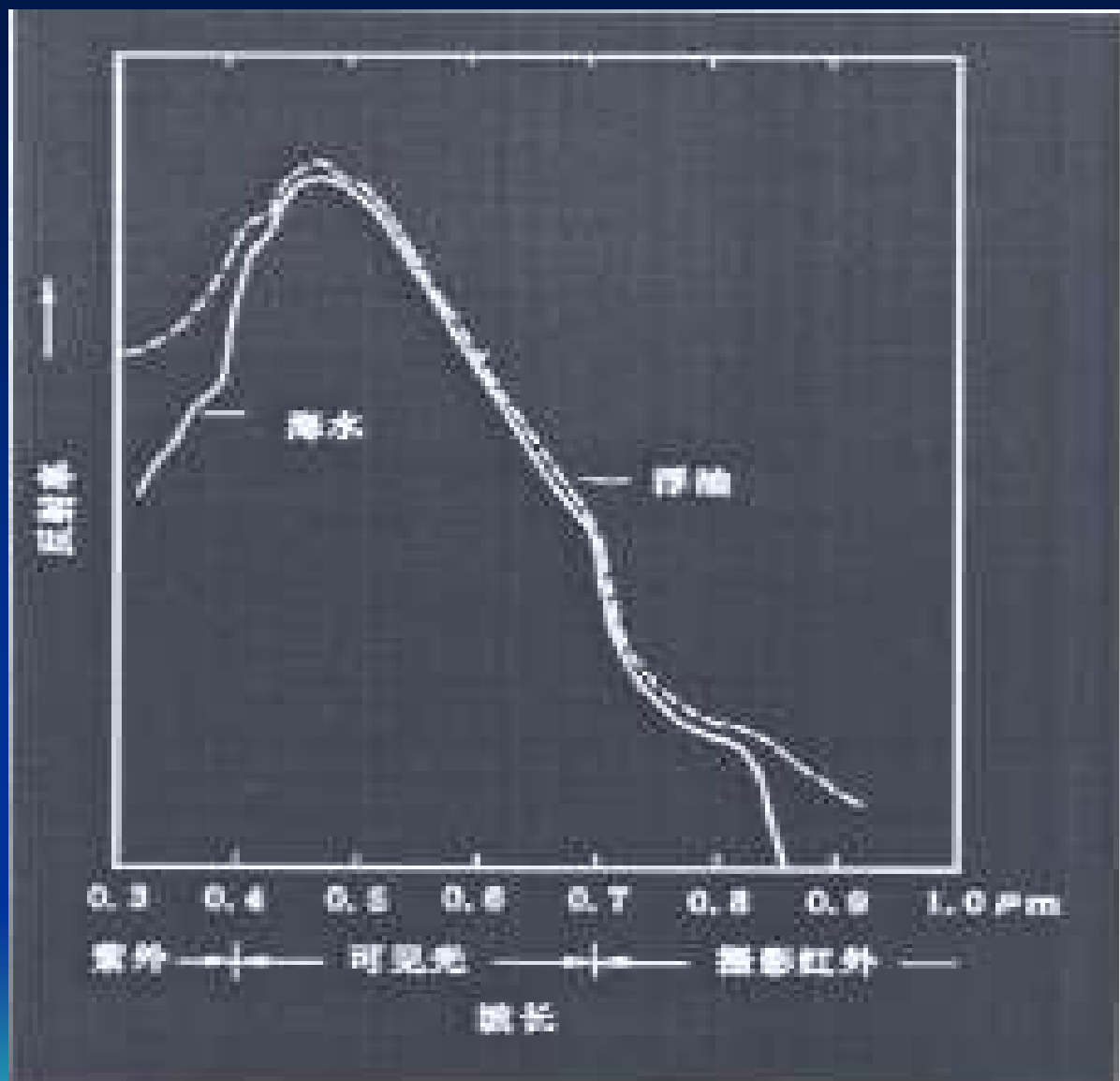


图1 海水和原油薄油膜层的光谱曲线(据 Viley, 1974)

- 且水面的粗糙度会改变水的反射，同时海上泡沫的存在也会对水的光谱反射造成影响。所以，水和浮油在可见光及近红外的反射光谱都会由于海水的状态而有所不同，从而没有一种简单的法则能在可见光及近红外谱段识别出所有的海上浮油。
- 从雷达微波谱段获取水上浮油的虑波效果也已被探测（Estes et al., 1985），然而依然存在其它能造成与海上浮油同样虑波效果的因素，而且这种误判率非常高。



- 然而：海上浮油和海水在8-14微米的大气窗口的光谱行为特征有明显的区别并且不为各种各样所预想能改变它们的因素（如泡沫、水的搅动、浮油的厚度、浮油的年龄等）所影响。

在所有的波段范围内热红外是最佳的选择！



Figure 1. Directional hemispherical reflectance spectra of five different crude oil slicks. Slicks are between 2 mm and 3 mm thick and 1-5 days old. Crude oil samples are, from top to bottom at 13.5  $\mu\text{m}$ , #39076, #34792, #15465, #35473, and #42667.

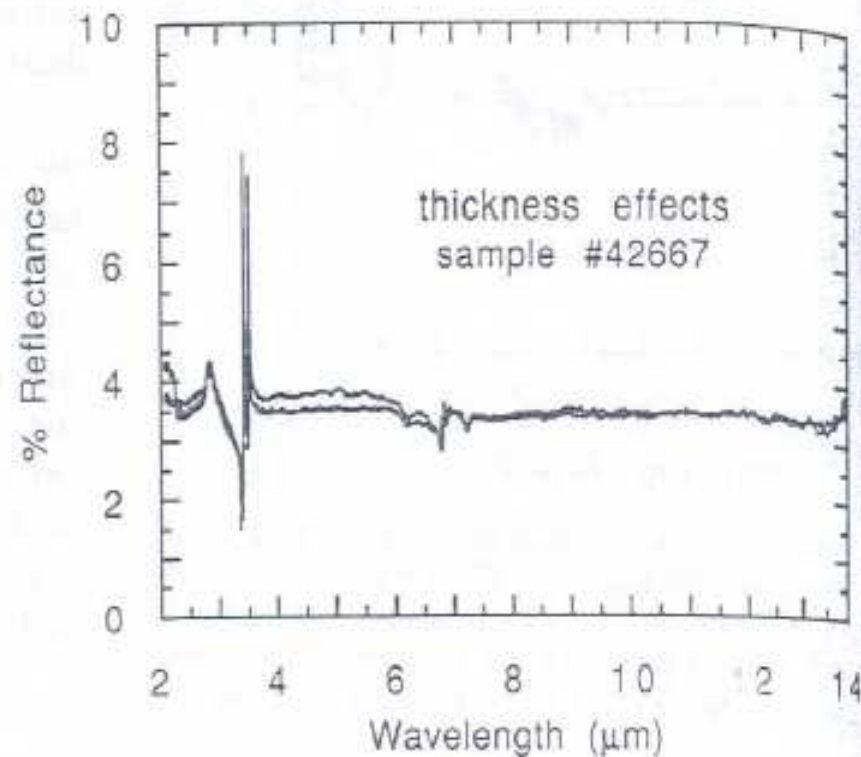
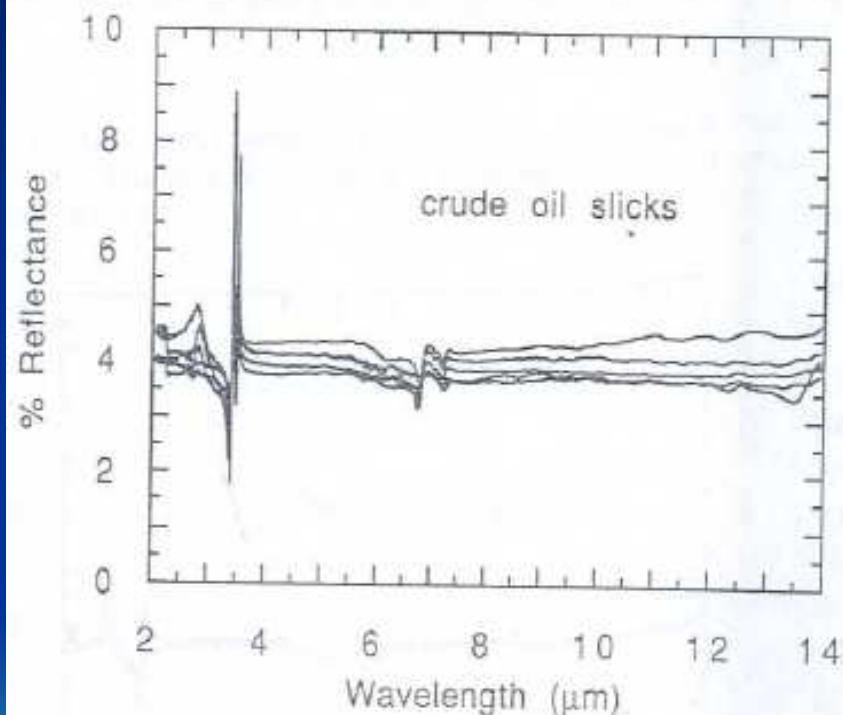


Figure 2. Directional hemispherical reflectance spectra of three slicks of sample #42667, varying in thickness from 0.22 mm to 3 mm.

Figure 3. Directional hemispherical reflectance spectra of a 1.78 mm fresh slick (---) and a slick aged for 20 h (—) of sample #35473.

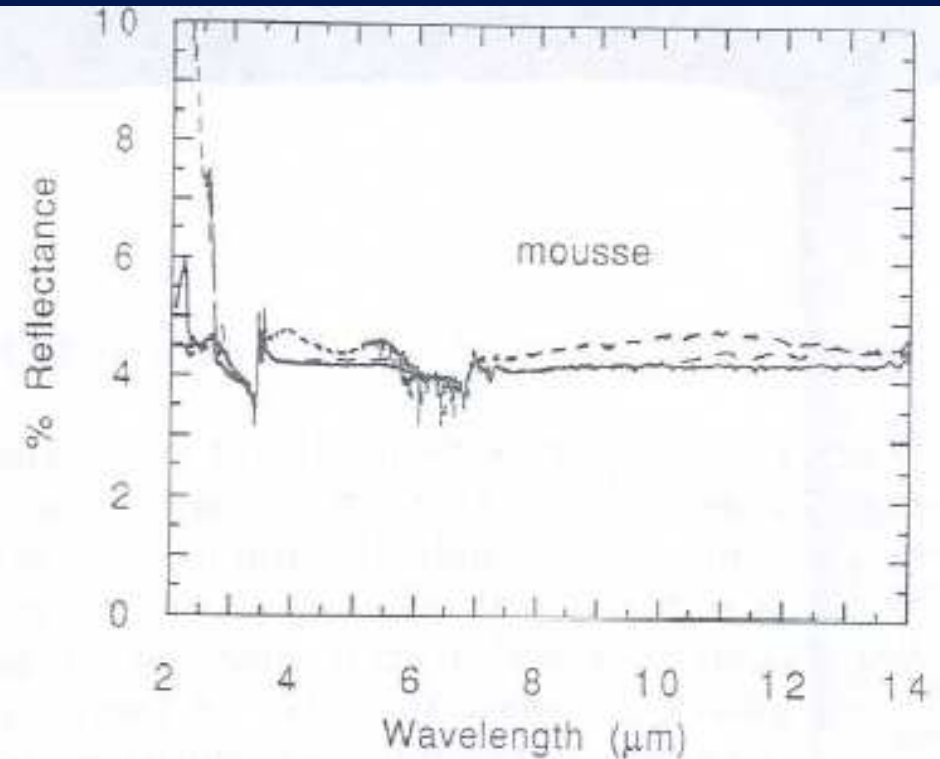
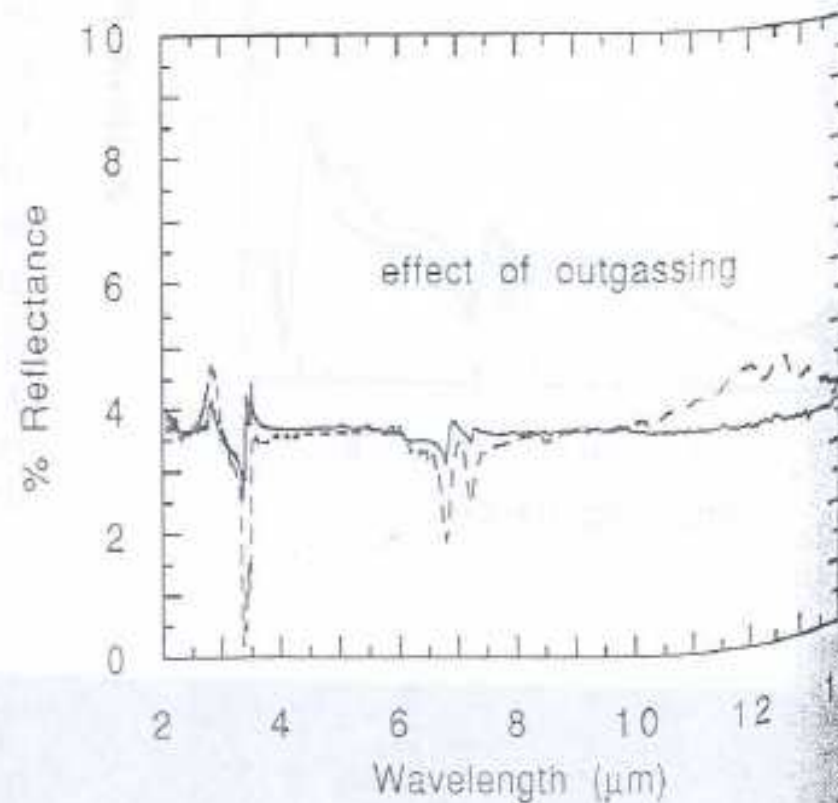
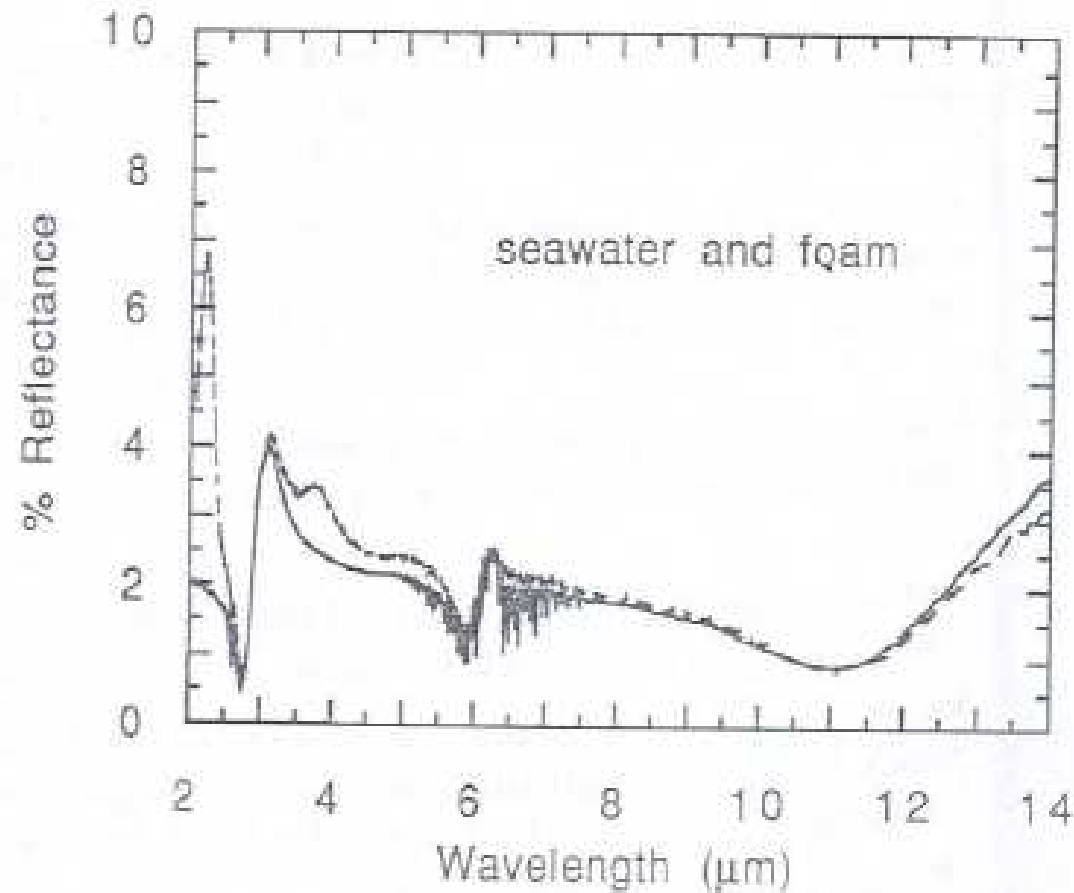


Figure 4. Directional hemispherical reflectance spectra of a slick of sample #39076 (—) and two different samples of mousse (---) generated with the same oil. High frequency noise between 5.5  $\mu\text{m}$  and 6.5  $\mu\text{m}$  is due to absorption by water vapor released by the water incorporated in the mousse.

Figure 5. Directional hemispherical reflectance spectra of seawater (—) and seawater foam (- - -). High frequency noise between 5.5  $\mu\text{m}$  and 6.5  $\mu\text{m}$  is due to absorption by water vapor.





- 图示说明：海上浮油和海水在8-14微米的大气窗口的光谱行为特征有明显的区别并且不为各种各样所预想能改变它们的因素所影响。如果这些实验室测得的结果能够被野外的实测所证实，那么利用航空或航天多光谱热红外遥感进行海上浮油的探测将会成为一种简便而且可靠的技术手段。

