

卫星热红外图像与震兆异常*

——澜沧地震前热红外图像的启示

徐秀登

(浙江师范大学地理系)

强祖基

(国家地震局地质研究所)

赁常恭

(国家气象局卫星气象中心)

1990年6月4日收稿

摘 要

本文基于1988年11月6日21时澜沧7.6级地震前的气象台站地面观测温度与相近时刻卫星热红外资料,分析了热红外图像与构造、岩性、地貌及气象等的关系,阐述了震兆增温异常与正常情况下的区别,初步总结了利用热红外图像的时、空动态变化特征捕捉地震临震前兆的方法和体会。

关键词 热红外辐射 地面增温 卫星图像时空动态变化

前 言

笔者利用卫星热红外图像进行地震临震预报的探索工作始于1989年10月。已在《突发性地面增温与地震前兆》^[1]一文中总结了地面增温异常与地震活动的关系及其形成机制。本文在此基础上进一步阐述地面增温怎样反映到卫星热红外图像上;如何从热红外图像辨识震兆异常等问题。

一、卫星热红外辐射图像

按近代物理学电磁理论,将0.75—1000微米的电磁辐射划为红外线区,其中短于3微米的地球表面辐射的红外能量主要来自太阳照射后的反射辐射,而波长大于3微米的辐射,主要是来自地球表面的自身放射辐射,尤其在3—15微米放射出的红外线,通常将其称为频谱的热区,也叫热辐射或热红外辐射。在3.5—5.5微米和8—14微米是地表热辐射的大气透射窗口,可利用卫星红外遥感技术加以探测。

在美国诺阿(NOAA)气象卫星上装载高级甚高分辨率辐射计(AVHRR),有5个波段,其中有3.55—3.93微米,10.2—11.3和11.5—12.5微米3个红外通道,它的空间分辨率在星下点是1.1平方公里。它可以大面积观测地球表面的陆地、水和云顶的辐射温

* 本课题为国家地震科学联合基金资助项目。

云南省地震局王元龙同志提供地震地质资料,特此致谢。

度,温度灵敏度优于 0.5k,而常规气象站只能获得定点观测值。因此,可利用气象卫星的热红外通道获取热红外辐射图像,并探测大范围的地面辐射温度。现将诺阿 AVHRR 记录的云南澜沧—耿马地区的图像数据(图版 1 图 1)经校正后,计算出温度值与图像内各气象台站实测的相近时刻(20 时)的地面温度进行对比(表 1)可知,气象台站实测地面温度(T_s)和近地表大气温度(T_a)与卫星上红外辐射计测得的地面温度(T_f)是比较接近的, T_a 与 T_f 更为接近。但卫星观测温度未经大气衰减订正,所以一般比地面台站实测的低。

表 1 卫星遥感温度与气象台实测温度对比

Table 1 Contrast between satellite remote sensing temperature and that of actual survey by meteorological station

地名	纬度经度	11月5日					11月6日				
		T_a^{20h}	T_s^{20h}	\bar{T}_f^{20h}	$\bar{T}_f - T_a$	$\bar{T}_f - T_s$	T_a^{20h}	T_s^{20h}	\bar{T}_f^{20h}	$\bar{T}_f - T_a$	$\bar{T}_f - T_s$
澜沧	N22°34'	17.9	16.6	16.25	-1.65	-0.35	17.0	16.7	16.25	-0.75	-0.45
	E99°56'										
耿马	N23°34'	22.2	21.7	20.25	-1.95	-1.45	20.9	22.0	19.25	-1.65	-3.65
	E99°05'										
景洪	N22°00'	19.8	11.12	19.25	-0.55	+8.25	20.1	10.31	19.25	-0.85	+9.25
	E100°48'										
思茅	N22°47'	17.3	15.0	16.25	-1.05	+1.25	18.0	18.0	17.25	-0.75	-0.75
	E100°58'										
元江	N22°36'	21.3	20.7	19.25	-2.05	-1.45	21.4	21.2	19.25	-2.15	-2.05
	E101°59'										

注: T_a^{20h} T_s^{20h} , 分别为气象台站实测 20 时(北京时间)地面(0 厘米)温度(°C)和百叶箱(高于地面 1.5—2 米)所测大气温度。 \bar{T}_f , 卫星对该地遥感的平均温度(°C)。

地面台站多设在低洼谷地或平原区,离居民点又不远,往往形成一个孤立的热点,加上台站间距较远,它们只能反映观测台站及周围一狭小范围的地表和底层大气温度及其变化,单独使用台站数据,对区域性的温度变化分析带来一定困难。而地震前兆一般是靠突发的区域性地面增温来显示的。气象卫星却能反映大面积温度分布状态,且观测周期短,因此,地面台站与气象卫星两者数据配合使用,捕捉临震前兆就能取得比较好的效果。

二、地面正常热红外图像成像因素分析

从卫星热红外辐射图像来捕捉有关震兆异常的信息是一个非常复杂的问题,即使一幅正常的热红外辐射图像,它的成像也是受到多种因素的影响。不同的岩性、构造、地貌,具有不同的反射率(ρ)、吸收系数(α)和辐射系数(ϵ),即具有不同的辐射特性。因此,在相同的人射辐射,即同一日照等气象条件下,不同岩石、植被、构造和地貌形态的地表面,会有不同的热辐射值。要识别一地区热辐射异常,就必须先掌握不同季节气象条件下,该地区相对稳定的正常的热辐射分布状况。

图版 1 图 1(5 日)、图 2(6 日)为晚上 20 时的热红外图像及其新作出的数字图像,它

表 2 卫星热红外图像对主要山川反映

Table 2 Reflection of the mountain and river in the satellite thermal infrared image

地名	一般温度(°C)	图像显示特征	图像号(数据来源)
元江	16.75—19.75	区内温度最高,连续性最好河流,但上游变差了	2
南定河	16.75—19.75	区内温度最高,连续性次好河流	1
澜沧江	16.75—17.75	N23°以南温度较高,连续性好,再往北无显示	2
墨江	15.75—17.75	从下游—上游,温度渐变,边界较清晰	1
把边江	15.75—16.75	从下游—上游温度下降,边界较清晰	1
小黑江	14.75—15.75	温度不高,但线性明显	1,2
南览河	14.75—16.75	温度分布不很规则,界线尚较清晰	1
哀牢山	8.75—10.75	区内温度最低,连续性最好山脉	1,2
无量山	11.75—13.75	卫片上界线较清晰	1,2

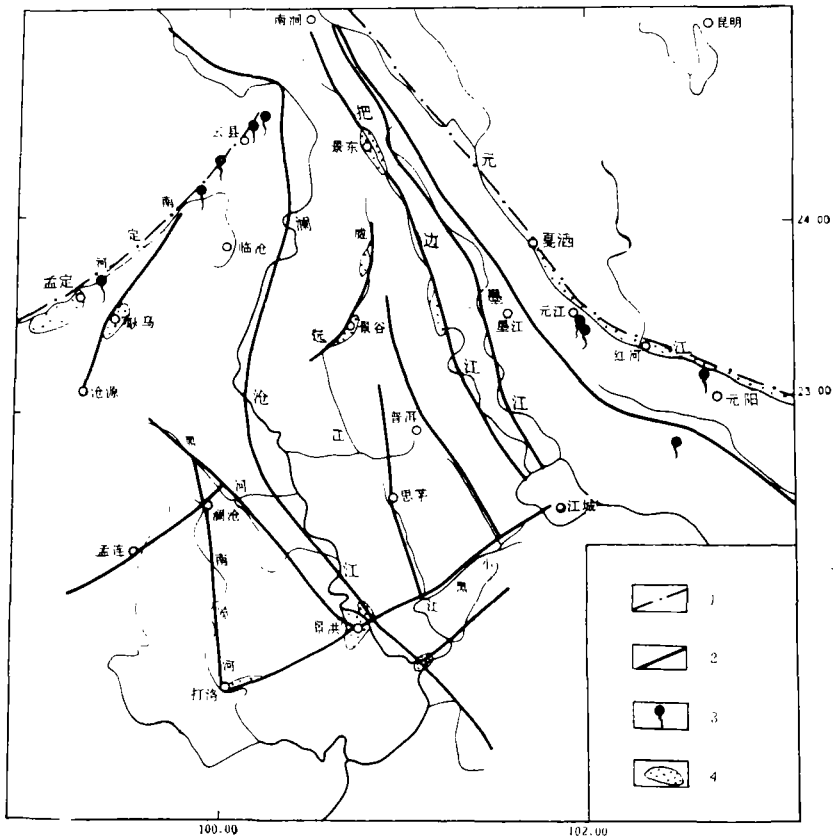


图 3 滇西南地区活动构造图(据云南省地震局等)

Fig. 3 Active tectonic map in the south west of the Yunnan province

1.第四纪活动断层, 2.新生代以来活动断裂, 3.热泉(80°—100℃), 4.第三纪、第四纪盆地。

们对山川地貌轮廓反映相当清晰,但各水系温度高低,连续性和清晰度各有差别(表 2)。这些差别正反映了热红外辐射与构造及其活动性、地貌和岩性的关系。

对比红外图像与滇西南活动构造图(图 3)可见,卫星图像上高温显示的大小河流,多

从活动构造带及其附近通过。其中元江和南定河断裂带,是活动性最强的第四纪活动断层,沿河还有许多热泉(80°—100℃)出露,故其温度值最高,连续性最好。其他,如澜沧江虽很宽,但属新生代以来有过活动的断层,其活动性较弱,温度值较低、连续性较差。说明红外图像上沿水系分布的高温带,首先是活动构造及其活动程度的反映,其次是河水的红外辐射的结果。

但同一条活动断层的不同地段,温度值也有差别,这除了有的是由于不同地段的活动性不同之外,还与岩性、地形有关。如元江,南段温度普遍较高(19°—20℃),漠沙(N23.7°)以北温度开始降低(17°—18℃),到戛洒(N24.1°)以北,就难以找到温度较高的值。这正与元江南段有厚度较大的第三系、第四系砂砾岩断陷盆地相吻合。但元江以北这类沉积厚度急剧减小,到戛洒以北就基本消失*。在狭谷深沟,虽然水流温度较高,但难以向外扩散,在空间分辨率为1.1公里(星下点)的情况下,就难以显示出来。红外图像上所见澜沧江上游温度降低,可能也是同样原因。澜沧江虽是滇西地区滔滔大河,水量很大,但除南段与NE向断层交汇的景洪一带有第四系盆地以外,其他地方多为急流深谷,在花岗岩谷底上流淌。这种温度与岩性的关系在11月5日南定河的卫星图像上显示更清楚,河谷高温区(红色)呈下宽上窄的楔形,与其河谷宽度和断陷盆地分布状态完全吻合。由于温度存在垂直分布,故山区的温度高低与海拔高度关系密切。哀牢山两侧被断层深谷切割,成带状断块隆起,山脊高度多为2400—2800米,为本区最高山,故自然成了图像内温度最低、界线清晰的低温带。因此,一个地区的热红外图像,实际是该区构造及其活动性、山川地貌和岩性(还包括植被)等的综合反映。

据 $W = \epsilon \sigma T^4$ 关系式,地物的红外辐射的发射强度(W),除与辐射系数(ϵ)有关外,与地物的温度(T)关系很大,而 T 与日照、气温等气象因素关系密切,因此在震兆异常与非震兆异常的识别中,要特别注意排除区域性气象增温异常的影响。我国北方,特别是西北沙漠地带,到了夏季白天,在强烈太阳辐射作用下,往往呈现区域性的高温带异常。

由于红外辐射不能透过云雾,故在云区,AVHRR辐射计测到的是云顶的辐射,温度值很低,这就不能将它与无云的地面进行对比,以致误认为是地面温度的突发性变化。这时只好依靠云缝中的温度,以点带面来恢复地面的温度状况。

三、震兆热红外异常

上述的气象、地貌、岩性等都是与地震无关的正常因素,构造活动性也不一定与地震有必然的联系。那末究竟什么是震兆红外异常?它是怎样形成的呢?

地表是一个天然的辐射源,在一定的气象条件下,在无地震活动时,卫星接收到的红外辐射图像是相对稳定的,是地表面因素热辐射状态的客观记录。而在孕震区,由于地应力的加强作用,使蕴藏地下的许多气体,可能还有其他能量,沿着大小活动裂隙释放出来,使地面在原正常背景辐射上叠加了一些红外辐射源,再加上放出的CO₂等“温室气体”在太阳辐射下的温室效应,就可使区内低空大气和地表面温度升高,这就形成震兆增温异

* 据云南省地震局《地震地质报告集》1987。

常^[4,5]。

实践证明: 震前地面增温是一种普遍现象, 经分析, 1989 年初以来, 在我国及邻区发生的 16 次 5 级以上地震的卫星红外图像皆有临震增温异常。1990 年 9 月 22 日发生于北京沙河的 4 级地震, 震前 9 月 13 日就在北京南面出现卫星红外异常, 北京塔院水气观测站同时测到了从地下释放出的 CO_2 、 CH_4 等“温室气体”, CO_2/Ar 的比值比平时增加近 10 倍。

在复杂, 多变的卫星红外图像中捕捉地震前兆异常, 主要靠连续观测到的卫星图像的时空变化的对比分析。

一、是空间上, 对比同一时间不同地区的横向温度梯度变化。这是卫星红外异常的最直观反映。

以图版 1 图 2 图像为例, 除西北角云层覆盖区以外, 其他地方大体可划分为三个区。元江和南定河水系以南为相对增温区。该区整体温度高(彩色像片呈黄色)多数为 $288-289 \text{ K}(15^\circ-16^\circ\text{C})$, 山川地貌界线清晰; 反映出构造活动性强, 放气多, 使断层谷温度增高, 从而与山脊的温度梯度加大。像片东北角为相对低温区(卫星像片上呈绿色区)整体温度以 $10^\circ-11^\circ\text{C}$ 居多, 地貌界线不清, 颜色较均匀一致, 温差不大, 表明构造相对稳定。上述两区之间为过渡区(彩色像片上呈黄绿相间), 有相对增温地段(呈黄色者), 但断续孤立展布, 与低温地段(呈绿色者)相间穿插。

根据上述空间温度梯度变化及特征分析, 再与该区孕震前正常红外图像对比, 可以初步确定: 南部为强增温异常区。中间为弱异常区, 东北角为正常区, 这一空间分布与气象台站地面观测温度所反映情况也是基本吻合的^[4]。据滇、川、黔、桂等四省 42 个气象台震前后半个月的地面(0 厘米)和大气温度变化曲线分析也可大致分成三个区: 异常区各台站的温度曲线皆从震前 6—7 天(10 月 31 日或 11 月 1 日)开始增温并呈线性上升, 于震后或震前 1 天(如澜沧 11 月 5 日)降温; 离震区较远的过渡区为弱异常区, 呈跳动式增温, 持续时间短, 震前 2—3 天即降温; 再远, 增温现象消失, 成为正常区。异常范围共 37 万平方公里, 总体呈 NE 向; 西北、东南边界皆受 NE 向构造控制。故从异常范围的局限性、空间分布与构造的一致性, 增温时间与地震活动的对应性等, 可排除区域性降温后的温度回升等气象成因的可能性, 可以确定为临震前兆。

二、是时间上, 观测同一地区不同时间的图像变化, 这尤为重要, 只有这样才能排除地貌、岩性、植被、气象和蠕滑性构造活动等因素产生的非震增温现象。其方法, 先确立正常热红外图像。其他时间的图像与之比较, 来寻求异常变化。也可在已知的相同气象背景下, 不同日期同一时刻(或相近时刻)的两张图像进行对比, 温度值相减, 寻求增温区段和增温度数。如 11 月 5 日 20 时 20 分图版 1 图 1 和 11 月 6 日 40 分的图版 1 图 2 比较, 可知 6 日在继续增温。最明显地表现于 $\text{E}99.7^\circ-\text{E}101.1^\circ$, $\text{N}23.1^\circ-\text{N}24.5^\circ$ 景东, 临沧双江一带即邦马山区, 5 日时为相对低温区(一般是 $3^\circ-6^\circ\text{C}$), 6 日时, 普遍增到 $8^\circ-13^\circ\text{C}$, (彩色卫星像片由绿色变成黄色, 一般提高了 $5^\circ-7^\circ\text{C}$)。可见增温范围沿 NW、NNW 构造带向西北方向扩展, 这与气象台站观测资料也是一致的。另有些橙色变成黄色、黄色变成红色的地段, 属加强增温地段。澜沧江南端景洪一带为例, 主要由于 NE 向打洛—江城断裂和澜沧江断裂南部活动, 使小黑江和曼岗一带增温加强, 由 5 日时的

15°—16℃ 提高到 6 日的 17°—18℃。但值得注意的是并未延伸到海拔 1588 米的高山头,也未使海拔较高(约 1300 米)的曼岗增温(见图版 1 图 1),表明增温是由于来自地下的气体,沿着活动断裂的沟谷冒出来,向高处上升并向周围扩散所致。

以上分析只是初步认识,本项课题尚待深入研究。

参 考 文 献

- [1] 徐秀登、强祖基、赁常恭,突发性地面增温与地震前兆,地震地质,第 3 期,1990 年。
- [2] 纯红,红外技术基础与应用,科学出版社,1979 年。
- [3] 严蔼芬、强祖基等,唐山地区地球卫星数字图像处理与隐伏活动断裂,地震科学研究,1982 年 4 月。
- [4] 强祖基、徐秀登、赁常恭,卫星热红外异常——临震前兆,科学通报,第 17 期,1990 年。
- [5] 王绳祖、张流,剪切破裂与粘滑——浅源强震发震机制的研究,地震地质,1984 年第 2 期。

THE SATELLITE THERMAL INFRARED IMAGE AND EARTH- QUAKE PRECURSORY ANOMALY—INSPIRATION FROM THERMAL INFRARED IMAGE PRIOR TO LANCANG EARTHQUAKE

Xu Xiudeng

(Department of Geography, Zhejiang Normal University)

Qiang Zuji

(Institute of Geology, State Seismological Bureau)

Dian Changgong

(Satellite Meteorological Center, State Meteorological Administration)

Abstract

Based on the data of the ground temperature of meteorological station at 20:00 (Beijing time) November 5 and 6 1988 before the Lancang M7.6 earthquake at 21:00 November 6 the satellite thermal infrared digital image and satellite picture almost at the same time, this paper analyzed the relations between thermal infrared images and tectonics, lithology, landform as well as heat radiation characteristic of normal background of meteorological phenomena etc.; expounded the differences and relations of temperature-increased anomaly of seismic precursors with normal state; summed up the method and experience for seizing impending precursors using the time-space dynamic variation of thermal infrared images.

Key words Thermal infrared radiation Ground temperature increase Time-space dynamic variation of satellite images

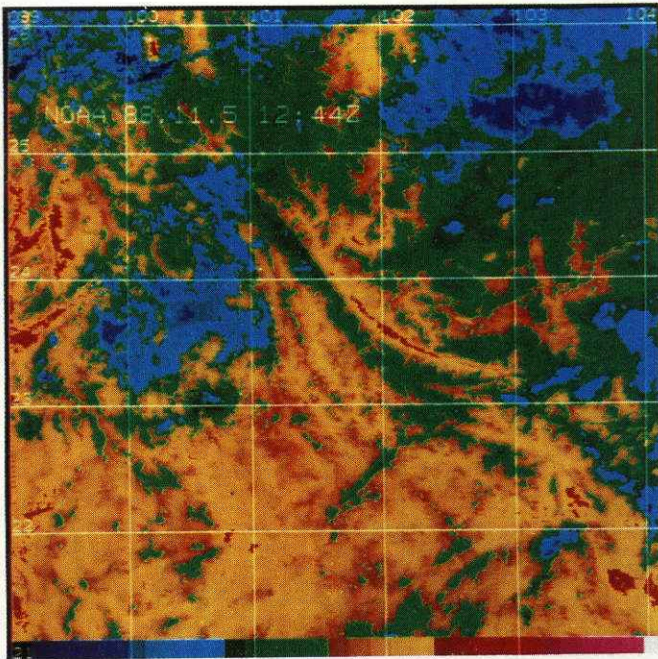


图1 1988年11月5日
卫星热红外图像

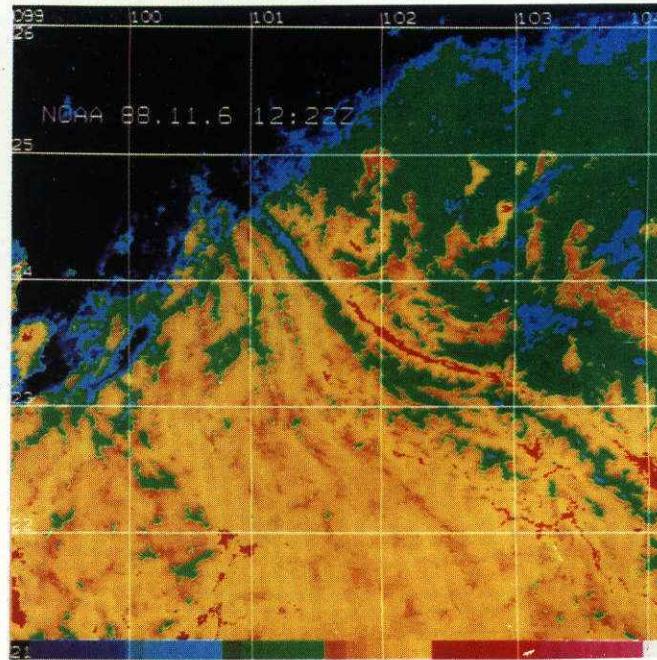


图2 1988年11月6日
卫星热红外图像