

1998 年 1 月 10 日张北 6.2 级地震前可能的卫星热红外异常现象^{*}

吕琪琦¹⁾ 丁鉴海¹⁾ 崔承禹²⁾

1) 中国北京 100036 中国地震局分析预报中心

2) 中国北京 100101 中国科学院遥感应用研究所

摘要 利用华北北部(113°~119°E, 38°~42°N)的 NOAA-AVHRR 热红外通道数据, 采用“震兆红外异常监测快速处理系统”软件, 对遥感数据进行了辐射校正、几何校正和大气校正等处理, 反演地表温度; 结合地质状况, 排除干扰因素的影响, 利用图象差值法提取热红外温度异常; 并以张北 6.2 级地震为例, 总结了热红外异常的时空变化特征及其与地震预报的关系.

在张北地震前十几天, 沿张家口—渤海地震带上出现了较大范围的热红外温度异常现象, 异常区域呈条带状, 具有一定的区域性的构造背景; 异常在空间上从外围向震中发展, 震中位于热红外异常增温区边缘. 利用临震前出现的卫星热红外异常进行地震预报探索, 有可能为地震预报开拓一条新的观测途径.

关键词 热红外异常 临震前兆 张北地震

引言

由于地震的复杂性, 当前的地震预报仍处于低水平的探索阶段. 从根本上说, 其主要原因, 一是现有科学认识水平有限, 从理论上还不能清楚地认识地震孕育、发生的规律; 其二是由于地震活动监测技术手段的局限性.

卫星遥感技术是近 10 多年来, 在现代光学、航天技术和计算机技术的基础上发展起来的高科技技术. 由于其具有时频高、覆盖范围广、实时监测等优点, 因而为宏观动态监测地震的孕育、发生过程提供了一种可能, 为地震预报的前兆观测方法提供了新的技术手段.

地震前出现地表温度异常, 早已被人们所察觉, 不少人曾对其进行过研究(王琳瑛, 朱传镇, 1984; 龙传侠, 1990; 杨修信, 1992). 震前的热红外异常信息就是反映了在气象卫星热红外通道遥感信息中的温度突发性变化. 震前卫星热红外异常最初是由前苏联 Горный (Gorny, 1988) 等人发现的. 他们详细地描述了在中亚地区活化断裂带上的红外辐射流与地震的关系, 得出了在地震前地面有非稳定性异常增温现象的结论. 强祖基等 (1990)、赁常恭等 (1994) 利用判读卫星热红外遥感资料, 得到地面增温异常的方法和思

^{*} 国防科学技术工业委员会资助项目(Y95-10)的部分成果.

1999-06-11 收到初稿, 1999-09-06 收到修改稿, 1999-11-05 决定采用.

路,并总结了临震前兆的突发性异常增温的特征.崔承禹等(1993)、邓明德等(1993)、耿乃光等(1992,1998)针对陆地地震预报的需要,进行了一系列的岩石加载实验,观测到了岩石应力增加引起红外辐射能量增高的物理现象和红外辐射岩石破裂前兆信息. Tronin (1996)用 10 000 景 NOAA 卫星热红外影象,对中亚地震活动带进行了研究,得出了热红外异常与中亚地震活动带之间具有统计相关性的结论.在活动断层表面存在着稳定和非稳定的热红外辐射异常.

现有的研究工作是从 NOAA 卫星影象的亮温出发,研究热红外温度异常与地震的关系.因亮温并不是地表的真实温度,所以讨论只能是定性的.如果能从热红外遥感数据中反演出地表的真实温度,就可以定量地研究热红外温度异常的变化规律,从而获得地面温度异常,并进一步探索其与地震的相关性.

1998 年 1 月 10 日张北 6.2 级地震发生前后,国防科学技术工业委员会资助项目——探索卫星热红外应用于地震预报的实验研究还在进行.中国地震局分析预报中心和中国科学院遥感应用研究所有关专家联合研究,并在华北北部进行了 3 个月的临震预报实践探索.张北地震前在华北北部发现了某些异常现象,并于震后进一步总结了张北 6.2 级地震前可能的卫星热红外异常现象.

1 热红外异常提取方法

热红外温度异常是指地震前卫星探测器所监测到的地表温度的变化.由于异常是相对正常而言的,所以必须建立起正常的温度场,以此作为区别异常的背景和标准.在此基础上,还需要进一步鉴别是地震引起的异常,还是其它因素引起的异常.

提取热红外异常信息就是将所研究的遥感图象与正常温度场作比较.正常温度场的选取要根据不同地区、不同时间资料获取的情况来确定.本研究采用图象差值法提取热红外异常信息,即在所监测地区选择一幅近期地震相对平静、无干扰的 NOAA 图象作为正常温度场,并将所研究的其它时相的卫星影象与其作差值比较.由于地震是地质构造运动的一种表现,因而对于所提取出的热红外信息还必须与地质构造相结合,同时还要排除地形、天气条件等干扰因素的影响.

(1) 地质构造.大地震常常发生在现代构造差异最强烈的地区,或活动大断裂附近.地震活动与断裂的关系非常密切.热红外异常区域与地质构造关系密切.

(2) 地形分布.地形形态对温度的影响非常明显.不同地形对增温和冷却过程变化的幅度不同.因此,在所研究的区域中,不能以同一温度标准对待不同高程的地物.图象的差值法可以部分地消除地形因素的影响.

(3) 气象因素.冷空气的天气过程和热空气的天气过程对地温的影响非常显著.要确定地震引起的热红外温度异常,必须排除天气过程引起的温度变化.气象因素引起的温度变化往往是大范围的,与冷空气或热空气流动的方向有关;而热红外温度异常往往是具有一定区域性的和局部性的.

(4) 热红外异常区域.在与正常温度场作差值比较后,通过确定温差的阈值来确定热红外异常区域的范围.阈值的选定主要取决于地表温度反演的精度和由于气象因素引起的热异常区域周围背景温度值的变化.温度反演后差值图象的精度取决于地表温度反演的相对精度.

2 张北 6.2 级震例分析

本研究以 1998 年 1 月 10 日张北 6.2 级地震为例, 将华北北部($113^{\circ}\sim 119^{\circ}\text{E}$, $38^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$)作为研究区域, 对张北地震前可能的热红外异常现象进行分析。

2.1 资料的选取

本研究选取美国 NOAA 气象卫星 AVHRR 传感器的热红外通道的数据, 从震前一个月开始, 即从 1997 年 12 月 10 日~1998 年 1 月 25 日。为排除日照和云的干扰, 所选图象均为夜间晴空的图象, 共 20 幅 NOAA14 图象。

2.2 资料的处理

对 NOAA/AVHRR 数据进行了预处理。主要采用中国科学院遥感研究所编制的“震兆红外异常监测快速处理系统”^①, 另外还用了 ENVI 图象处理软件。

(1) 辐射校正。用“震兆红外异常监测快速处理系统”软件, 进行图象定标、可见光近红外通道的太阳高度角校正和红外通道的临边变暗校正等辐射校正。

(2) 几何纠正。首先选择 1997 年 12 月 12 日的图象作为基准图象进行图象对地图的配准。在 1:500 000 的地形图上选择控制点; 同时在图象上选择相应的特征点, 共选择了 20 多个控制点, 然后按麦卡托投影用双线性内插的方法重采样, 对 1997 年 12 月 12 日的图象作几何精纠正; 最后再以此图象为基准图象, 其它图象作图象对图象的配准。几何纠正的精度可以达到一个像元以内。

(3) 大气校正。采用柳钦火等(1998)提出的地表温度和辐射率同时反演的快速算法, 将水体作为辐射率已知的标准地物。首先用 ENVI 软件对图象进行监督分类。分类方法采用最大似然法, 将地表共分成 11 类, 用于计算地表温度。由于图象时相是 12 月底~1 月初夜间 2 点左右, 接近最低气温, 所以在 Lowtran 7 程序中采用北京冬季最低气温大气模式进行模拟计算。

快速算法反演温度的绝对精度在理论上可以达到 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$, 相对精度达到 1°C 以内。将温度反演后的图象采用 1°C 的间隔进行密度分割。其中, 所选用的正常温度场和有异常的结果见图 1 所示。

2.3 张北热红外异常的提取

在图象差值法中选择张北地震前(1997 年 12 月 12 日)的图象作为正常温度场, 进行差值运算。图 2 分别为 1997 年 12 月 28 日、1998 年 1 月 5~6 日、8 日和 9 日以及 1997 年 12 月 12 日的差值图象。

从差值图象的结果可以看出, 温度变化明显的主要集中在 3 个区域: ① 海湾—北京西北部的一个北西向的条形区域; ② 东北部的不规则增温区; ③ 西南部的增温区。为了判断热红外的临震异常, 主要结合地质状况, 排除地形和天气因素的干扰, 以期获得热红外异常大致区域。

(1) 地质构造。从华北北部地区的主要断层图上可以看出, 从渤海湾经北京至张家口的条形增温区正处在北西向的张家口—渤海断裂上。其它两个增温区不具备这种构造背景。

① 崔承禹. 1998. 震兆红外异常监测快速处理系统研制技术报告. 中国科学院遥感应用研究所。

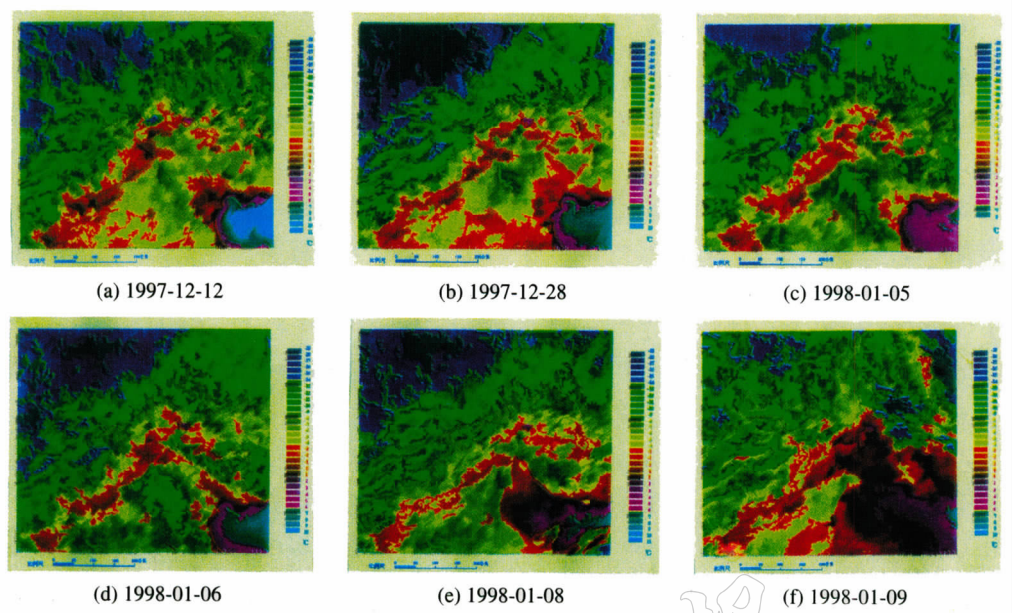


图 1 华北北部地区经遥感反演所得的地表温度分布图

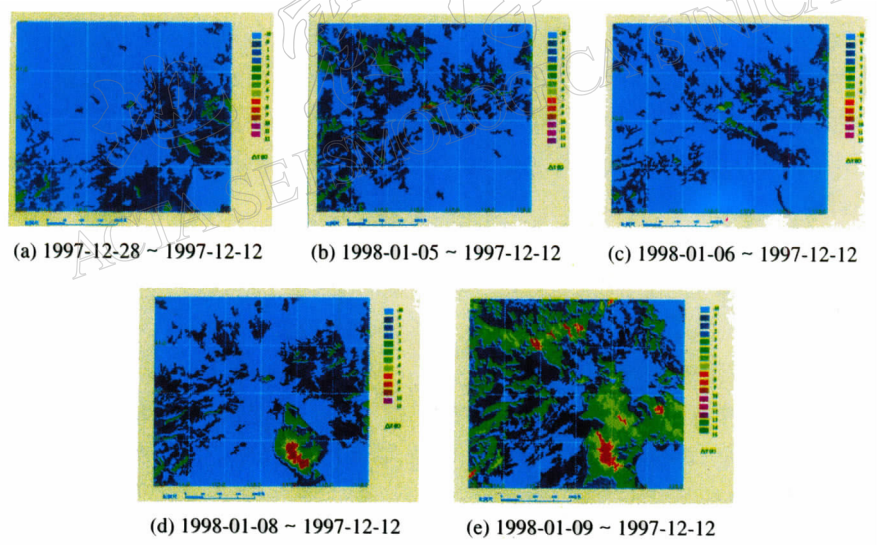


图 2 华北北部地区地表温度差值图象

(2) 地形因素. 在图 1a 所示的 1997 年 12 月 12 日的地表温度分布图上, 太行山前的温度在正常情况下比平原的温度高出 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$. 因而在差值图象东北部的形态相似的增温区域, 可能主要是由地形因素影响引起的.

(3) 天气状况. 在研究区内分布着渤海湾、密云水库等相对稳定的水体, 可以从水面温度的变化来大致确定气温的变化. 1997 年 12 月底天气逐渐变冷, 尤其是 1998 年 1 月 5 日降温更厉害, 而增温区域地表是持续升温的, 它不可能是由于气象因素干扰所致. 在作

为正常温度场的 1997 年 12 月 12 日的图象上，西南部分有云存在，这个增温区可能不是震兆热红外异常。震后分析结果认为，渤海湾—北京西的条形区域可能是震兆热红外异常区域。

2.4 热红外异常的时空变化特征

张北地震前，1997 年 12 月 28 日(图 2a)在唐山西部开始出现条形温度异常区。12 月 30 日异常不明显。此后，温度异常沿张家口—渤海断裂向西北缓慢延伸，异常温度也在持续增加。到 1998 年 1 月 5 日(图 1c、图 2b)、6 日(图 1d、图 2c)，温度异常的条形区域扩大，已经穿越了太行山到达官厅水库一带。1 月 8 日(图 1e、图 2d)凌晨，异常增温区已向南扩展影响到天津地区增温。至震前 1 天(1998 年 1 月 9 日)(图 1f、图 2e)温度异常区域沿张家口—渤海断裂急剧向西北延伸，到地震震中附近，并且向东北和西南扩展，其增温范围和增温幅度均达到最大值(吕琪琦等，1998)。

热红外异常的面积在逐渐扩大，震前 1 天异常面积急剧扩展达到峰值，近 40 000 km²，异常区域距震中达 400 多公里(图 3)。大体上与张北 6.2 级地震前 3~4 级中等地震活动的张家口—渤海地震带相一致(丁鉴海等，1998)。

在异常区中，求出异常区的平均温度，并作其随时间变化的曲线(图 4)。异常区逐渐增温，临震增温近 8℃。

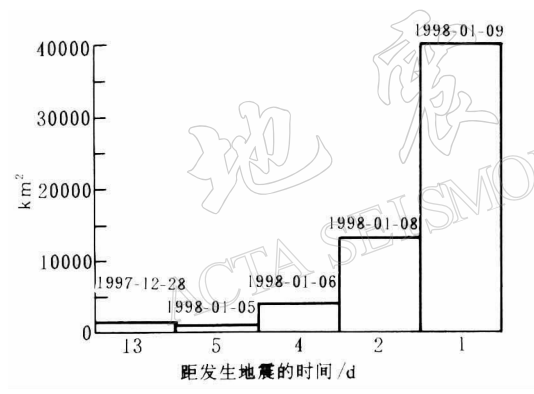


图 3 张北 6.2 级地震卫星热红外异常面积的扩展演变

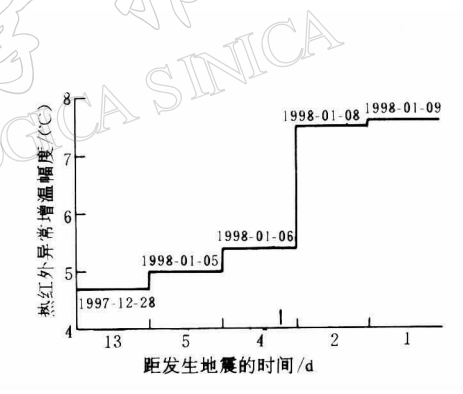


图 4 张北 6.2 级地震卫星热红外异常增温幅度变化曲线

3 讨论与结论

张北地震前可能存在热红外异常现象：热红外异常的初始变化出现在震前十几天。温度变化的峰值出现在震前 1~2 天；异常形态为条带状，增温是沿断裂发展，具有一定的构造背景。

以上仅仅是对张北震例的总结。如果将震前热红外温度异常作为一项临震前兆，认识震前热红外异常，则必须进一步对众多的震例进行总结，以期获得临震前兆的预报判据指标。

热红外异常由于受多种因素的干扰，在地震前识别异常是非常重要的，但也是比较困

难的. 要发挥其在短临预报, 特别是预报发震时间和发震区域方面的优势, 除加强识别异常的基础研究外, 还应当将其与地震活动和其它前兆异常相结合, 对比分析, 进而有可能在地震预报中起一定作用, 为地震预报特别是短临预报提供一种新的先进观测手段.

参 考 文 献

- 崔承禹, 邓明德, 耿乃光. 1993. 在不同压力下岩石光谱辐射特性研究. 科学通报, **38**(6): 538~541
- 邓明德, 崔承禹, 耿乃光. 1993. 遥感用于地震预报的理论及实验结果. 中国地震, **9**(2): 163~169
- 丁鉴海, 陈学忠, 刘杰, 等. 1998. 地震预报探索与张北 6.2 级地震. 地震, **18**(3): 211~218
- 耿乃光, 崔承禹, 邓明德. 1992. 岩石破裂实验中的遥感观测与遥感岩石力学的开端. 地震学报, **14**(增刊): 645~652
- 耿乃光, 于萍, 邓明德, 等. 1998. 热红外震兆成因的模拟实验研究. 地震, **18**(1): 83~88
- 赁常恭, 王宣吉, 强祖基. 1994. 我国利用气象卫星监测地震前兆. 卫星利用, **1**: 51~55
- 柳钦火, 徐希孺, 陈家宜. 1998. 遥测地表温度与比辐射率的迭代反演方法. 遥感学报, **2**(1): 1~6
- 龙传侠. 1990. 澜沧-耿马地震前后的地温异常变化. 地震研究, **13**(2): 196~201
- 吕琪琦, 丁鉴海, 崔承禹, 等. 1998. 张北 6.2 级地震前的卫星热红外异常. 地震, **18**(3): 240~244
- 强祖基, 徐秀登, 赁常恭. 1990. 卫星热红外异常——临震前兆. 科学通报, **17**: 1 324~1 327
- 王琳瑛, 朱传镇. 1984. 唐山地震和海城地震前地温的异常变化. 地震研究, **17**(6): 649~656
- 杨修信. 1992. 大同-阳高地震地热异常与机理初探. 西北地震学报, **14**(1): 22~27
- Gorny V I, *et al.* 1988 The earth outgoing IR Radiation as an indicator of seismic activity. *Proceeding of Academy of Sciences of the USSR*, **30**(1): 67~69
- Tronin A A. 1996. Satellite thermal survey—a new tool for the study of seismoactive regions. *INT J Remote Sensing*, **17**(8): 1 439~1 455

地震学报
ACTA SEISMOLOGICA SINICA