

2005年10月8日巴基斯坦7.8级地震热红外异常

钟美娇, 张元生

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:收集了2005年巴基斯坦7.8级地震区 Noaa17/AVHRR 的2004—2005年的热红外遥感资料,并进行地表温度反演,得到了以震中为中心 $7^{\circ} \times 7^{\circ}$ 范围的地表温度值。经热红外图像解译与构造关系对比分析,表明热红外解译图像与构造分布具有一致性。震源区地表温度时间序列显示:震前大约3个月内震源区存在明显的热红外异常。

关键词:巴基斯坦7.8级地震;热红外异常;遥感;地表温度

中图分类号: P315.72+8; TP722.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2007)02-0137-04

Thermal Infrared Anomaly before Pakistan Earthquake ($M_s=7.8$) on October 8, 2005

ZHONG Mei-jiao, ZHANG Yuan-sheng

(Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Using the thermal infrared satellite remote sensing data on the region of Pakistan M_s 7.8 earthquake on Oct. 8, 2005, in 2004—2005, from Noaa17/AVHRR, the surface temperature of $7^{\circ} \times 7^{\circ}$ range is inversed, and the deciphering images of thermal infrared are compared with the local tectonics. The temperature-time sequence of the epicenter area surface shows that there had been obvious thermal infrared anomaly in the area in 3 months before the earthquake occurred.

Key words: Pakistan M_s 7.8 earthquake; Thermal infrared anomaly; Remote sensing; Surface temperature

0 前言

20世纪80年代末,随着卫星遥感技术的迅速发展在地震预测预报中提出了新的预测方法和手段。地震前卫星热红外异常最初是由前苏联的B. И. ГОРНЫЙ等人^[1]发现的,我国科学家很快意识到这一发现的重要性,迅速开始了这方面的探索研究,并将这一方法正式应用于地震预报实践^[2-13]。

本文在前人的实践基础上,应用AVHRR热红外遥感资料,结合2005年10月8日巴基斯坦7.8级地震的发震区构造背景,跟踪了热红外遥感温度图像的演变,通过对地表温度变化的研究,提取了震前地表温度异常特征。

1 震区历史地震与构造背景

2005年10月8日巴基斯坦7.8级地震震中位于北纬 34.4° ,东经 73.6° ,首都伊斯兰堡东北约95 km。地震发生在印度板块的西北角,正位于印度板块和欧亚大陆作用的“结点”地区之一,即帕米尔地区。这一地区处在喜马拉雅地震带上,历史上曾多次发生过 $M_s \geq 7.0$ 以上地震,该次地震恰好发生在喜马拉雅地震带的空段上(图1)。

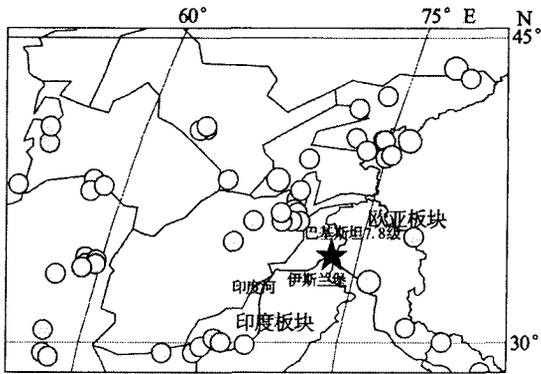
经过对帕米尔地区的热红外温度反演,获得了清晰的温度显示图像(图2(a))。图中亮度值高(白色)对应高温值;亮度值低(近黑色)对应低温值。可以清晰地分辨出水系、海洋、高原、山脉及海

收稿日期:2006-03-23

基金项目:国家“十五”科技攻关课题(2004BA601B01-02-02);甘肃省地震局青年地震科学基金(QJ0607)(2007255);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC20070031

作者简介:钟美娇(1981-),女(壮族),云南广南人,硕士,主要从事遥感应用研究及地震预报工作。

岸线等地貌特征。



(★本次7.8级地震, ○为历史地震)

图 1 帕米尔地区 1800 年以来 $M_s \geq 7.0$ 地震分布

Fig. 1 Distribution of $M_s \geq 7.0$ earthquakes in Pamirs region since 1800.

图 2(b)为图 2(a)中的矩形区域放大图,显示断层、水系、山脉等分布与 A. 德秀^[14]对克什米尔地区的构造研究结果一致。

3 资料收集与处理结果

本文选择了当地夜间时段的热红外资料:红外辐射计:Noaa17/AVHRR;资料区域:31°N~38°N, 70°E~77°E;资料长度:2004 年 1 月 1 日—2005 年 12 月 1 日。

在数据处理过程中最重要的一个步骤就是从遥感到的辐射温度反演出陆地表面温度。用卫星遥感数据来反演地表温度的历史可以追溯到 20 世纪 60

年代初期所发射的 TIROS- II。从那时起在已知比辐射率的前提下,科研工作者利用各种对大气辐射传递方程的近似和假设提出了许多不同的表面温度反演算法。目前使用最广泛的是分裂窗法(多通道法),起初这种方法用来确定海面温度,后来被推广到反演陆地表面温度。本文采用了 Becker & Li (1990)的分裂窗地表温度计算公式:

$$T_s = 1.274 + P(T_4 + T_5)/2 + M(T_4 - T_5)/2 \quad (1)$$

式中 T_s 表示地面温度; T_4 、 T_5 分别代表 AVHRR 第 4、第 5 通道的亮度温度, P 和 M 则由下式求算:

$$P = 1 + 0.15616(1 - \epsilon)/\epsilon - 0.428\Delta\epsilon/\epsilon^2 \quad (2)$$

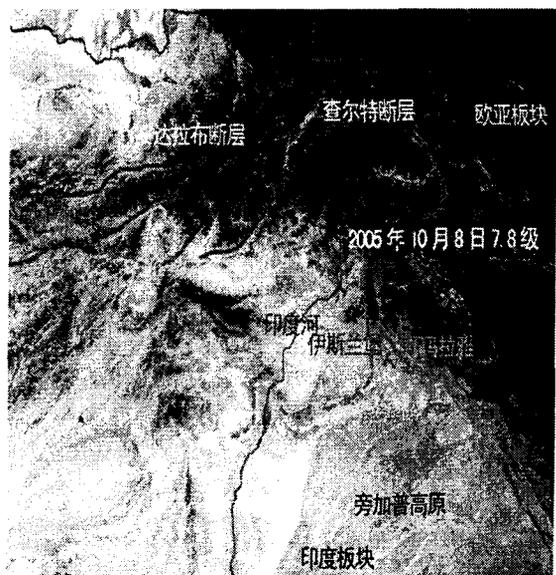
$$M = 6.26 + 3.98(1 - \epsilon)/\epsilon + 38.33\Delta\epsilon/\epsilon^2 \quad (3)$$

其中 ϵ 是 AVHRR 两热红外通道的平均辐射率,即 $\epsilon = (\epsilon_4 + \epsilon_5)/2$, $\Delta\epsilon = \epsilon_4 - \epsilon_5$, ϵ_4 、 ϵ_5 分别是第 4、第 5 通道的比辐射率。

AVHRR 数据包含 5 个通道的信息,利用热红外数据处理软件,首先对原始数据进行通道分离和辐射定标处理,然后才能使用公式(1)反演陆地表面温度,并进行几何校正,得到整个研究区域的地表温度分布图。为了研究特定区域的热异常现象,对震源区进行了窗口大小为 $0.4^\circ \times 0.5^\circ$ 的扫描(图 3),得到不同小区域的温度时序图(图 4;区域 0~9)。由于受到 AVHRR 数据量大的限制,因此本研究选择无震的 2004 年各区域温度值作为背景温度。



(a)



(b)

图 2 帕米尔地区热红外温度灰度图((b)为图(a)中矩形框内放大显示构造)(2005 年 9 月 27 日)

Fig. 2 Image of infrared temperature of Pamirs area.

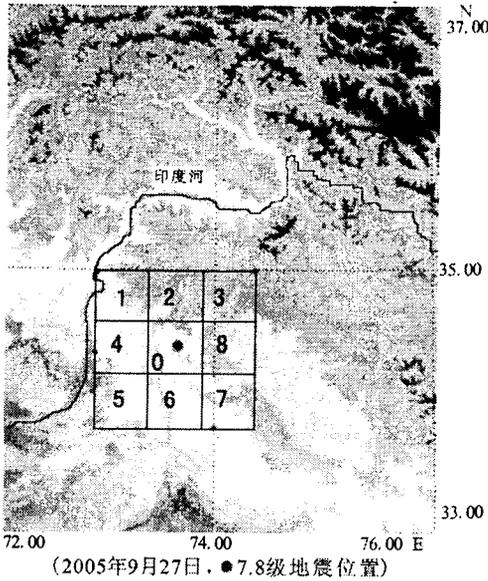


图 3 扫描区域划分图

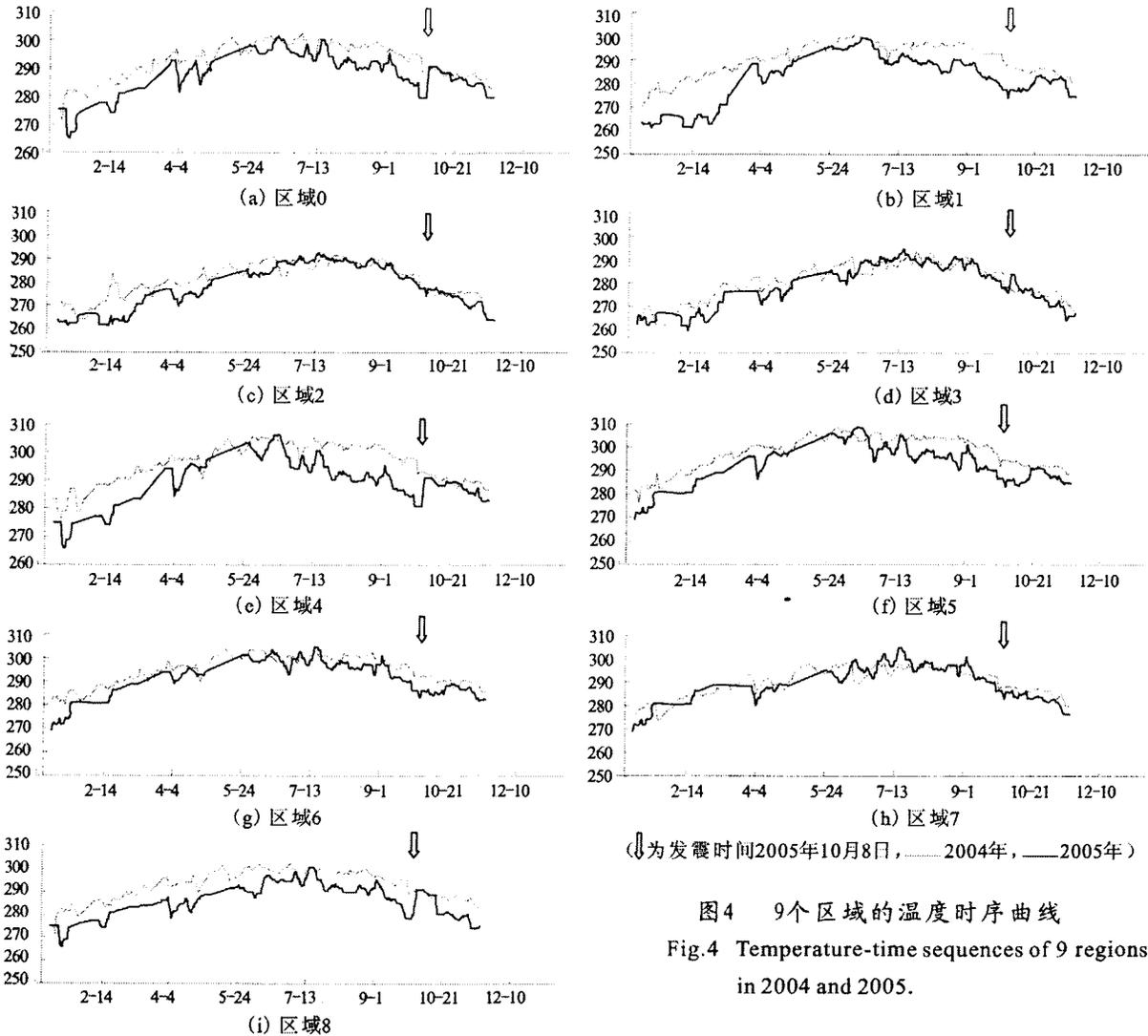
Fig. 3 Divided regions of research area.

3 分析

对图 4 中的温度时序曲线结果进行以下分析:

(1) 在 2、3、7 区域 2004 年和 2005 年的温度变化趋势基本一致, 温度均在 7 月 28 日前后几天达到最高值。在区域 1、4、5、6、8 和震中区(区域 0)2005 年的温度最高值出现在 6 月 23 日前后, 与 2004 年相比这几个区域出现了明显的异常: 从 2005 年 7 月中旬到发震日(10 月 8 日)这一时段温度比 2004 年同期有不同程度的降低, 降低幅度由大到小的排列是 4、1、0、5、8、6, 对照图 3, 越靠近破裂区, 构造越复杂, 降温幅度越大。

(2) 2005 年 7 月中旬—10 月 8 日, 出现温度异常的这几个区域平均温度在下降的过程中有一个明显的增温过程: 从 8 月 25 日左右开始温度持续升高近 10 天, 有的升温幅度达 10 度, 其中比较明显的区域为 0 和 1(图 5)。而在 2004 年相同时段温度变化的趋势为缓慢下降。



(↓为发震时间2005年10月8日, ———2004年, - - -2005年)

图 4 9 个区域的温度时序曲线

Fig. 4 Temperature-time sequences of 9 regions in 2004 and 2005.

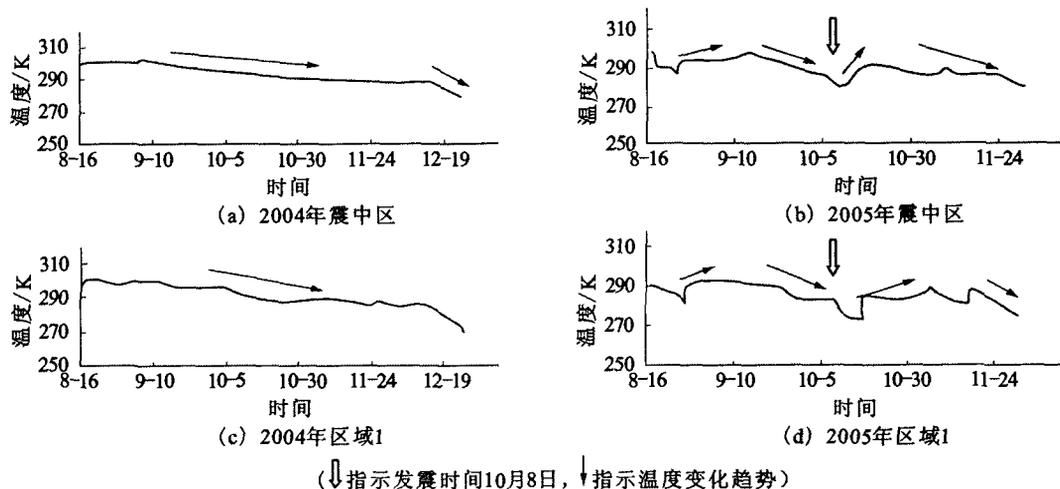


图 5 地震前后温度异常变化

Fig. 5 Thermal infrared anomalies before and after the earthquake.

(3) 在震前出现温度异常的区域震后温度迅速回升,震前异常幅度越大的区域震后温度回升幅度越大,有的区域回升约 10 度。在这回升过程中区域 0、4、8 比 1、5、6 要快得多,这应该与发震区构造相对应,越靠近破裂区,温度恢复得越快。

(4) 与 2004 年前半年相比各扫描窗口在 2005 年前半年温度偏低,经查证主要是受云雨天气的影响,可以排除异常的可能性。

4 结论与讨论

本研究结合巴基斯坦 2005 年 7.8 级地震发震区的地质构造资料,从热红外遥感图像信息中提取了发震区构造在地表的展布,进一步认识了震区构造背景,说明了温度呈条带分布与断层展布有密切的关系。

通过对热红外遥感资料分析,发现在震前 3 个月发震区出现了明显的热红外异常现象,与前一年同期相比震前温度总体上是一个下降过程,即负异常。在发震年的温度变化趋势中,震前一个半月内温度存在一个 10 天左右的增温过程,局部小区域增温达 10 度;震后出现了明显的温度回升过程。

在前人的研究结果中震前往往是一个增温过程,而此次巴基斯坦 7.8 级地震的震前热红外异常研究结果为负异常,这是一个新的发现。出现负异常的原因之一可能是地下逸出物质与地表物质起主要作用的热交换,即当逸出物质的温度低于地表温度时,经过热交换后,地表温度降低。另外,前述震区构造大环境显示为挤压型,从来自 NEIC 的震源机制解也可以分析出发震断层也属于挤压型。在受到挤压的情况下断层有可能处于封闭状况,导致地

下热能无法释放,出现了震前热红外负异常现象。

致谢:感谢郭增建研究员在此次地震的热红外机理研究上提供宝贵意见!

[参考文献]

- [1] В И ГОРНЫЙ. 地球热红外辐射——地震活动性的标志[J]. A. H. . CCP, 1988, 301(1): 67-69.
- [2] 徐秀登,张行才,李贵达. 张北地震与大气增温异常[J]. 西北地震学报, 2000, 22(1): 44-47.
- [3] 刘德富,罗灼礼,彭克银. 强烈地震前的 OLR 异常现象[J]. 地震, 1997, 17(2): 126-132.
- [4] 耿乃光,于萍,邓明德. 热红外震兆成因的模拟实验[J]. 地震, 1998, (18)1: 83-88.
- [5] 王庆良,王文萍,梁伟峰. 应力-耗散热地温前兆机理[J]. 地震学报, 1998, 20(5): 525-534.
- [6] 徐秀登,徐向民. 地震前红外异常的基本特征与成因机制[J]. 西北地震学报, 2001, 23(3): 310-312.
- [7] 张元生,沈文荣,徐辉. 新青 8.1 级地震前卫星热红外异常[J]. 西北地震学报, 2002, 24(1): 1-4.
- [8] 刘德富. 台湾集集强震前的卫星遥感长波辐射场变异分析[J]. 地球信息科学, 2000, 2(1): 33-36.
- [9] 张元生,柳钦火,郭晓. 卫星热红外遥感在地震预报中的应用与研究进展[J]. 西北地震学报, 2004, 26(4): 357-361.
- [10] 郭晓,张元生,钟美娇. 卫星热红外遥感资料在地震预报中的应用研究[J]. 西北地震学报, 2005, 27(3): 223-227.
- [11] 康春丽,陈正位,陈立泽,等. 昆仑山 8.1 级地震的热红外前兆特征分析[J]. 西北地震学报, 2003, 25(1): 12-15.
- [12] 马瑾,单新建. 利用遥感技术研究断层现今活动的探索——以玛尼地震前后断层相互作用为例[J]. 地震地质, 2000, 22(3): 210-218.
- [13] 马瑾,汪一鹏,陈顺云. 卫星热红外信息与断层活动关系探讨[J]. 自然科学进展, 2005, 15(12): 1467-1475.
- [14] A 德秀. 克什米尔喜马拉雅—喀喇昆仑—兴都库什及帕米尔地区的某些大地构造问题[J]. 云南地质, 1997, (增刊): 75-85.