

# 汶川和玉树地震前 MODIS 卫星红外异常分析\*

张铁宝, 路茜, 刘放, 辛华

(四川省地震局, 四川 成都 610041)

**摘要:** 对 MODIS/Terra 卫星遥感红外亮温月距平图像进行了研究, 结果表明, 在汶川 8.0 级地震前 2 年、玉树 7.1 级地震前 1 年, 遥感红外亮度温度均出现了明显的大幅度升温异常, 且异常面积较大, 达几十万平方公里, 距离发震时间较近的升温异常幅度更大, 升温面积更大。汶川地震前升温异常面积比玉树地震前的大, 这可能表明异常面积大小与地震震级大小存在一定关联。亮温月距平图像异常次数统计结果表明, 1 年里出现 1~3 个月升温异常为背景水平, 1 年里出现大于等于 6 个月的异常次数对升温地区未来 7 级以上强震发生时间具有 1~2 年的中期指示意义。

**关键词:** MODIS; 遥感红外亮度温度; 汶川 8.0 级地震; 玉树 7.1 级地震

**中图分类号:** P315

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2013)04-0496-06

## 0 引言

卫星遥感与传统前兆监测相比, 具有数据准确可靠、覆盖面广等优点, 近一二十年来, 国内越来越多的学者开始研究  $M \geq 7$  强震前卫星红外异常。强祖基等 (1992, 1998) 利用 NOAA 卫星红外资料研究 1990 年青海共和 7.0 级地震、1996 年云南丽江 7.0 级地震发现, 地震前几天至 2 个月, 相关地区持续增温, 面积最大可达百万平方公里。刘德富等 (1997) 研究 1976 年云南龙陵 7.4 和 7.3 级地震、1976 年河北唐山 7.8 和 7.1 级地震、1976 年四川松潘 2 次 7.2 级地震、1985 年新疆乌恰 7.4 级地震以及 1990 年青海共和 7.0 级地震前红外通道的 OLR 资料发现, 地震前一个月震中附近地区月平均 OLR 值增长显著; 2004 年苏门答腊 8.7 级地震前数月, 在印度洋东北部地区出现持续性的 OLR 通量增强现象 (刘德富, 康春丽, 2005)。康春丽等 (2003) 研究发现, 在 2001 年昆仑山口西 8.1 级地震前几天至 2 个月内, OLR 和遥感红外亮度温度均出现增强现象, 且空间上展布与发震断裂走向一致; 汶川地震前, 四川地区长波辐射场显示出中、短期和临震异常 (康春丽等, 2009)。前人的

研究表明, 在很多 7 级以上地震之前, 震中或相关地区会出现红外异常, 由于地震震级越大, 孕震空间范围越大, 能量积累所需时间越长, 红外异常出现的时间也可能较长。本文对比较长时间 2004 年 3 月至 2012 年 12 月、较大范围 ( $20^{\circ} \sim 40^{\circ}N$ ,  $90^{\circ} \sim 110^{\circ}E$ ) 的连续 MODIS (中分辨率成像光谱仪) 遥感红外数据进行了跟踪, 分析了 2008 年 5 月 12 日四川汶川 8.0 级和 2010 年 4 月 14 日青海玉树 7.1 级地震前存在的异常现象。

## 1 卫星资料介绍与预处理

选用白天 10 时至 12 时 30 分间过境的 MODIS/Terra 遥感红外亮度温度 (简称“亮温”, 即等效黑体温度) 数据。MODIS 具有 36 个离散光学通道, 分布在  $0.4 \sim 14 \mu m$  的电磁波谱范围内, 其中有 6 个通道探测的信息与地表温度有关 (刘玉洁, 杨忠东, 2001), 即 20 ( $3.660 \sim 3.840 \mu m$ )、21 ( $3.929 \sim 3.989 \mu m$ )、22 ( $3.929 \sim 3.989 \mu m$ )、23 ( $4.020 \sim 4.080 \mu m$ )、31 ( $10.780 \sim 11.280 \mu m$ ) 和 32 ( $11.770 \sim 12.270 \mu m$ ) 通道, 红外通道的空间分辨率为 1 km。21 通道数据相对于其它与地表温度相关的红外通道数据, 高频成分较少, 易于提取稳定的

\* 收稿日期: 2013-01-07.

基金项目: 四川省地震局地震科技专项“强震前大时空尺度 MODIS 卫星热红外异常及其与区域构造关系研究” (LY1304) 与中国地震局震情跟踪青年课题“MODIS 卫星红外长周期信息异常提取与应用” (2011020405) 联合资助。

背景场。刘放等(2010)研究表明,21通道红外亮温与地表温度相关性较好,因此,本文选用21通道2004年3月至2012年12月(共8年10个月)红外亮温数据。星上亮温通过对应红外通道的表观辐亮度代入 Planck 函数求解得到。在有云时候,卫星探测到的红外信息为云顶信息,数据在使用前经去云处理和拼接以得到较高晴空率的数据。

## 2 研究方法 with 结果

异常场是相对于正常背景场而言的,笔者采用距平方法(刘德富,康春丽,2003)来扣除背景场,距平是某一系列数值中的某一个数值与平均值的差,单像元亮温距平为某个像元的亮温与该像元多年同期亮温平均值的差,计算分析区内所有像元的距平即得到空间上的亮温距平图像。笔者侧重提取中短期异常,对时间分辨率要求不

高,由于云层干扰造成分析区内日值数据像元样本量减少,通过日值数据提取的对应日值背景场可靠性降低,因此,只计算分析区( $20^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$ ,  $90^{\circ} \sim 110^{\circ} \text{E}$ )的亮温月背景场和月距平图像。计算结果显示,亮温月背景场图像具有明显的地形地貌特征,不同月份的亮温背景场图像具有明显的夏高冬低季节特征,距平处理能在很大程度上扣除季节和地形地貌的影响。前人研究表明震前卫星红外异常几乎都是升温异常(强祖基等,1990,1992,1998;徐秀登等,1990,1991,2002;刘德富等,1997,1999,2005;马瑾,单新建,2000;张元生等,2002;邓志辉等,2003a,2003b;陈梅花等,2003;康春丽等,2003,2004,2009;屈春燕等,2006;刘放等,2007),实验室岩石受压破裂前弹性变形阶段岩石温度表现出升温现象(刘培洵等,2004),因此笔者只提取大面积大幅度的升温异常。

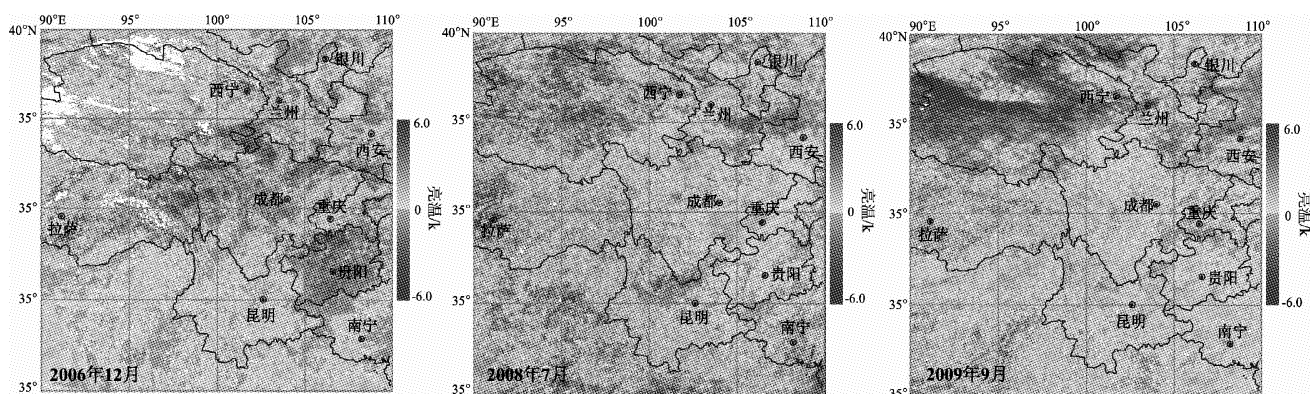


图1 无异常亮温月距平图示例

Fig. 1 Examples of monthly departure which didn't appear anomalous increase of BT

时间范围取2004年3月~2012年12月,共104个月(其中缺数2个月)。异常提取结果显示,正常月距平图像有75个月,篇幅所限,只给出部分示例图(图1),出现大面积大幅度升温异常的月距平图像有29个月。2004~2012年,年度月距平图像升温异常次数分别为2、2、4、6、1、6、4、2、2个月(图2),1年中异常次数平均值为3.2个月。汶川地震前,2006年(4个月异常)和2007年(6个月异常)出现高于平均水平的异常频次,玉树地震前,2009年(6个月异常)和2010年(4个月异常)出现高于平均水平的异常频次。因此,从2006年开始分析汶川地震前的升温异常,从2009年开始分析玉树地震前的升温异常。

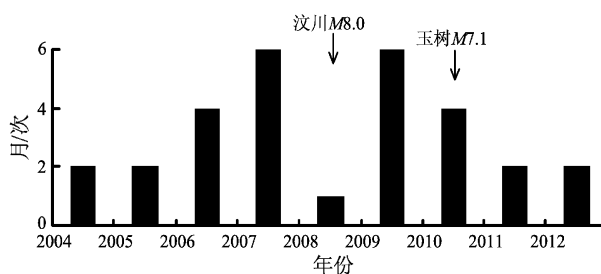


图2 年度升温异常次数统计图  
(资料截止时间2012年12月)

Fig. 2 The frequency statistic of anomalous increase of BT in one year (the deadline of data is Dec., 2012)

汶川 8.0 级地震前的异常提取结果显示, 在 2006 年 2、7、8、11 月、2007 年 2、3、4、5、10、11 月和 2008 年 5 月出现了大面积大幅度升温异常 (图 3、表 1)。从 2006 年 2 月至 2008 年 5 月整个异常演化过程可看出, 2006 年升温强度相对较弱, 2007、2008 年升温强度变强, 2007

年 4 月至 2008 年 5 月的升温面积比 2006 年 2 月至 2007 年 3 月的升温面积大。在空间上, 升温总体分布在汶川地震震中以西的川青藏交界和青藏交界地区, 升温面积在  $(2 \sim 7.5) \times 10^5 \text{ km}^2$  之间变化, 相比较而言, 龙门山断裂带附近升温并不突出。

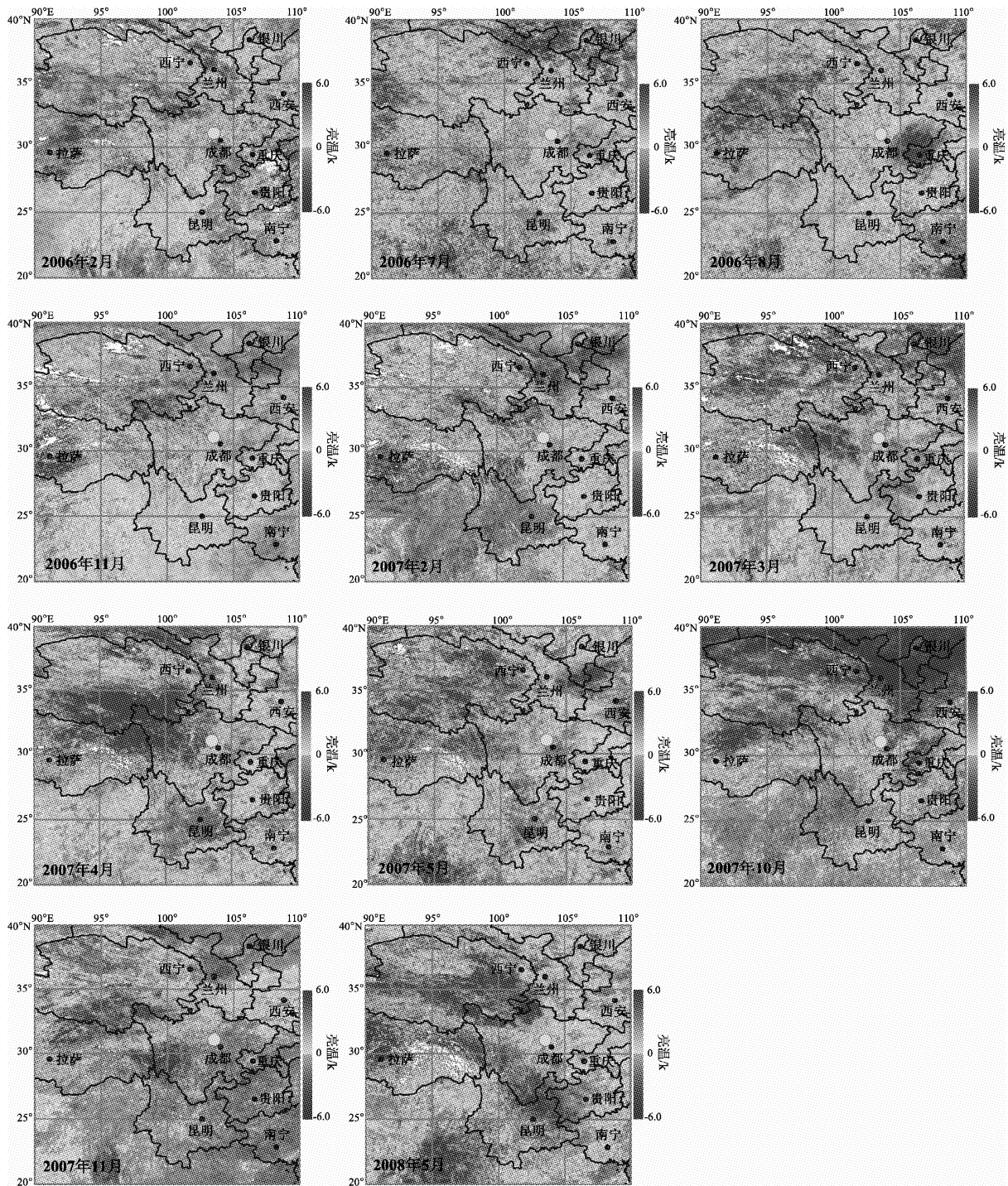


图 3 汶川 8.0 级地震前 (2006 年 1 月 ~ 2008 年 5 月) 异常亮温月距平图  
Fig. 3 Monthly departure which appeared anomalous increase of BT before Wenchuan  
M8.0 earthquake from Jan. , 2006 to May, 2008

表 1 汶川地震前异常统计表

Tab. 1 Statistic of increase anomalous of BT before Wenchuan M8.0 earthquake

序号	异常时间/年-月	升温区域	分布面积/km <sup>2</sup>	升温幅度
1	2006-02	川青交界、青海南部和西藏部分地区	约 6.0×10 <sup>5</sup>	较大
2	2006-07	青海西南部与西藏交界地区以及川藏交界地区	约 3.0×10 <sup>5</sup>	较小
3	2006-08	青藏交界一带，四川盆地中也有升温	约 6.0×10 <sup>5</sup>	较大
4	2006-11	川青交界一带，甘肃宁夏也有分布，成带状	约 6.0×10 <sup>5</sup>	较大
5	2007-02	甘肃和宁夏一带	约 5.0×10 <sup>5</sup>	大
6	2007-03	川藏交界一带	约 2.0×10 <sup>5</sup>	大
7	2007-04	龙门山断裂带以西的川西地区、川青藏交界以及青藏交界一带	约 6.0×10 <sup>5</sup>	大
8	2007-05	川青藏交界一带、青藏交界一带以及青海的东部	约 7.5×10 <sup>5</sup>	大
9	2007-10	川青藏交界一带、青藏交界一带以及四川盆地内部	约 5.0×10 <sup>5</sup>	大
10	2007-11	川青藏交界一带以及青藏交界一带	约 5.0×10 <sup>5</sup>	大
11	2008-05	川青交界地区以及青海部分地区	约 5.0×10 <sup>5</sup>	大

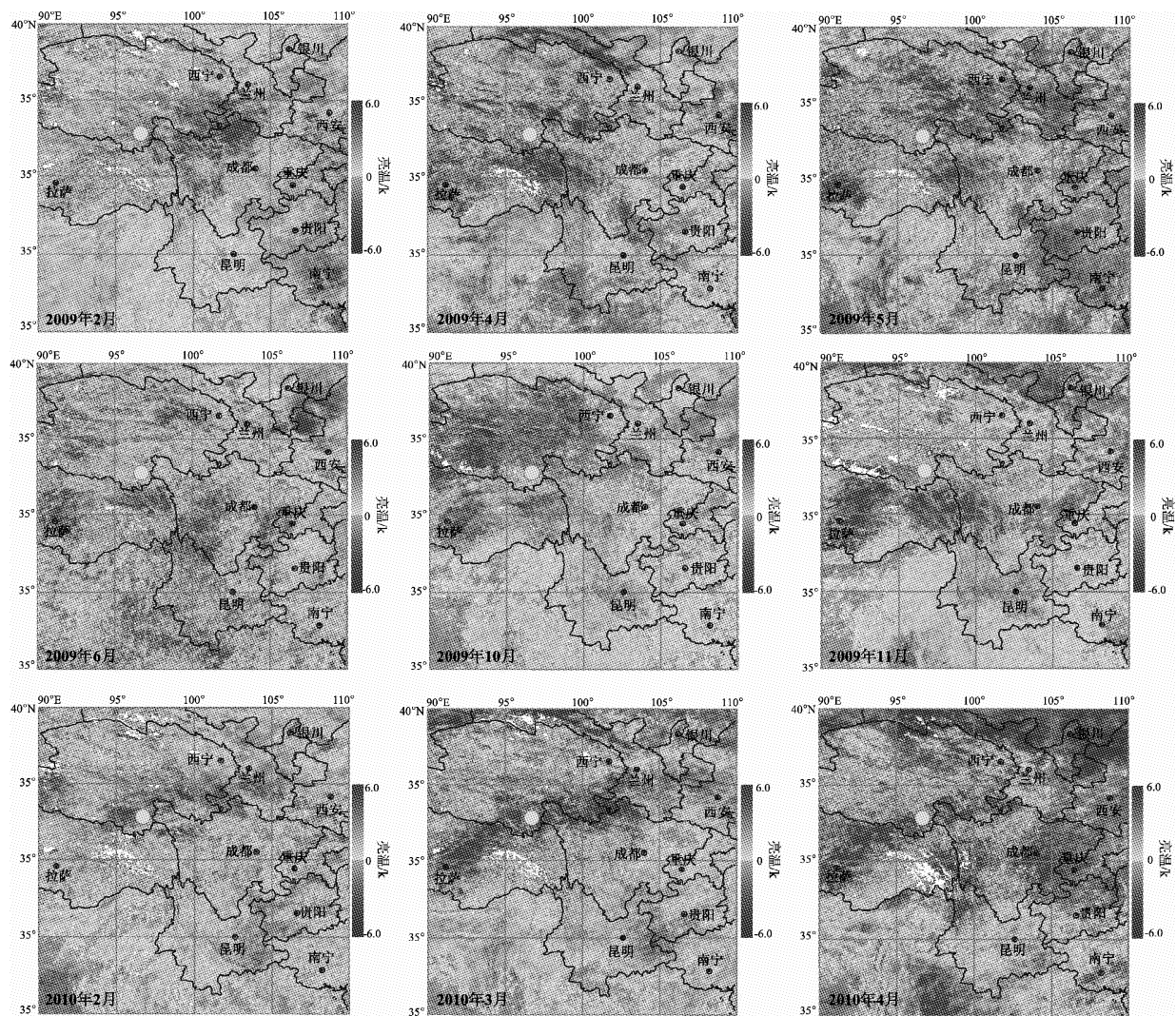


图 4 玉树地震前（2009 年 1 月~2010 年 4 月）异常亮温月距平图

Fig. 4 Monthly departure which appeared anomalous increase of BT before Yushu M7.1 earthquake from Jan. , 2009 to Apr. , 2010

玉树 7.1 级地震前的异常提取结果显示, 在 2009 年 2、4、5、6、10、11 月、2010 年 2、3 和 4 月出现了大面积大幅度升温异常 (图 4), 具体异常描述见表 2。从 2009 年 2 月至 2010 年 4 月整个异常演化过程可看出, 在升温强度上, 整个异常

时段差异不大, 但 2009 年 11 月至 2010 年 4 月的升温面积比 2009 年 2 月至 2009 年 10 月间的大一些。在空间上, 升温总体分布在玉树地震震中以南的藏东南至川藏交界一带, 升温面积在  $(1.5 \sim 5) \times 10^5 \text{ km}^2$  之间变化。

表 2 玉树地震前异常统计表

Tab. 2 Statistic of increase anomalous of BT before Yushu M7.1 earthquake

序号	异常时间/年-月	升温区域	分布面积/ $\text{km}^2$	升温幅度
1	2009-02	川青交界以及川藏交界靠四川一侧	约 $3.0 \times 10^5$	大
2	2009-04	川藏交界至西藏东部一带	约 $3.0 \times 10^5$	大
3	2009-05	川藏交界一带以及拉萨一带	约 $2.0 \times 10^5$	大
4	2009-06	藏东以及拉萨一带	约 $1.5 \times 10^5$	大
5	2009-10	藏东以及拉萨一带	约 $1.5 \times 10^5$	大
6	2009-11	川藏交界以及拉萨一带	约 $4.0 \times 10^5$	大
7	2010-02	川青交界至川甘交界一带, 成条带状	约 $3.0 \times 10^5$	较大
8	2010-03	川甘青交界延伸至拉萨, 成条带状	约 $5.0 \times 10^5$	大
9	2010-04	川甘青交界延伸至拉萨, 成条带状	约 $4.0 \times 10^5$	大

### 3 结论与讨论

(1) 在汶川 8.0 级地震前 2 年、玉树 7.1 级地震前 1 年内, MODIS 红外亮温月距平图像出现了频次高于平均水平的大面积大幅度升温异常, 震后升温异常频次降低至平均水平以下。升温异常频次统计结果显示, 1 年内出现 4 个月以下的异常为背景水平, 1 年里出现大于等于 6 个月的异常对相关地区未来发生 7 级以上强震的时间可能具有 1~2 年的中期指示意义。

(2) 从两次强震前异常出现时间看, 强震前既存在约 1~2 年的中期异常, 也存在几个月的短临异常, 距离发震时间较近的升温异常幅度更大, 面积更大。汶川地震前的升温异常多分布在震中以西, 震中所在的龙门山断裂带无突出升温异常出现, 玉树地震前的升温异常多分布在震中以南的藏东南至川藏交界一带。为什么汶川地震前龙门山断裂带升温异常不突出? 马瑾等 (2010) 研究表明, 岩石破裂前弹性变形阶段, 温度变化与体积变化有关, 体积收缩升温, 江在森等 (2009) 利用 GPS 研究表明, 龙门山断裂带震前长时间处于应变速率很低的全线闭锁状态, 分析认为变形量小的全线闭锁状态可能是震前龙门山断裂带无突出升温变化的重要原因。两次强震前的升温异

常面积均很大, 达到几十万平方公里, 这可能与强震孕育的大空间尺度有关。汶川地震前升温异常面积比玉树地震前大, 这或许表明异常面积大小与震级大小存在关联。

从升温异常的空间分布特点看, 异常分布似乎与大的区域构造和动力学背景存在一些联系, 这值得结合其它学科资料做进一步研究和探讨。强震孕育具有大时间尺度的特点, 本文所用资料时间长度较短, 上述分析讨论还有待更长资料 and 更多震例来验证。

#### 参考文献:

- 陈梅花, 邓志辉, 贾庆华. 2003. 地震前卫星红外异常与发震断裂的关系研究: 以 2001 年昆仑山 8.1 级地震为例 [J]. 地震地质, 25 (1): 100-108.
- 邓志辉, 王煜, 陈梅花, 等. 2003a. 中国大陆几次强地震活动的卫星红外异常分析 [J]. 地震地质, 25 (2): 327-337.
- 邓志辉, 陈梅花, 王煜, 等. 2003b. 地震前卫星红外异常特征分析 [J]. 地球学报, 24 (增刊): 323-328.
- 江在森, 方颖, 武艳强, 等. 2009. 汶川 8.0 级地震前区域地壳运动与变形动态过程 [J]. 地球物理学报, 52 (2): 505-518.
- 康春丽, 陈正位, 陈立泽, 等. 2003. 昆仑山口西 8.1 级地震的卫星热红外前兆特征分析 [J]. 西北地震学报, 25 (1): 12-15.
- 康春丽, 刘德富. 2004. 华南地区强震前的卫星遥感信息特征 [J]. 华南地震, 24 (2): 1-5.
- 康春丽, 张艳梅, 刘德富, 等. 2009. 汶川 8.0 级大地震的长波辐射征象 [J]. 地震, 29 (1): 116-120.



- 刘德富,康春丽. 2003. 地球长波辐射(OLR)遥感与重大自然灾害预测[J]. 地学前缘,10(2):427-435.
- 刘德富,康春丽. 2005. 苏门答腊岛8.7级大地震前的辐射异常现象[J]. 国际地震动态,(1):37-39.
- 刘德富,罗灼礼,彭克银. 1997. 强烈地震前的OLR异常现象[J]. 地震,17(2):126-132.
- 刘德富,彭克银,刘维贺,等. 1999. 地震有“热征兆”[J]. 地震学报,21(6):652-656.
- 刘放,吕弋培,江利明. 2010. MODIS亮温与气温及地温的相关性分析[J]. 地震地质,32(1):127-137.
- 刘放,辛华,任越霞,等. 2007. MODIS亮温增温异常点比值的时序分析方法及其在台湾一些5级以上地震前的异常变化[J]. 地震地质,29(1):172-179.
- 刘培洵,刘力强,陈顺云,等. 2004. 地表岩石变形引起热红外辐射的实验研究[J]. 地震地质,26(3):502-511.
- 刘玉洁,杨忠东. 2001. MODIS遥感信息处理原理与算法[M]. 北京:科学出版社.
- 马瑾,陈顺云,扈小燕,等. 2010. 大陆地表温度场的时空变化与现今构造活动[J]. 地学前缘,17(4):1-14.
- 马瑾,单新建. 2000. 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,22(3):210-215.
- 强祖基,贺常恭,李玲芝,等. 1998. 卫星热红外图像亮温异常—短临震兆[J]. 中国科学(D辑),28(6):564-573.
- 强祖基,贺常恭. 1992. 青海共和7级地震卫星热红外临震增温前兆[J]. 现代地质,6(3):297-300.
- 强祖基,徐秀登,贺常恭. 1990. 热红外异常:临震前兆[J]. 科学通报,35(17):1324-1327.
- 屈春燕,单新建,马瑾. 2006. 红河断裂热红外高温条带的成因及其与地震活动性关系的探讨[J]. 地震学报,28(1):91-97.
- 徐秀登,强祖基,贺常恭. 1990. 突发性地面增温与临震前兆—以1988年澜沧、耿马7.6,7.2级地震为例[J]. 地震地质,12(3):243-250.
- 徐秀登,强祖基,贺常恭. 1991. 临震卫星热红外异常与地面增温异常[J]. 科学通报,36(4):291-294.
- 徐秀登,钟韵. 2002. 南黄海6.1级地震前热红外异常[J]. 地震学刊,22(4):1-6.
- 张元生,沈文荣,徐辉. 2002. 新青8.1级地震前卫星热红外异常[J]. 西北地震学报,24(1):1-4.

## Analysis on Infrared Anomalous Increase of MODIS Satellite before Wenchuan M8.0 and Yushu M7.1 Earthquakes

ZHANG Tie-bao, LU Qian, LIU Fang, XIN Hua

(Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, Sichuan, China)

### Abstract

Analyzing the monthly departure image of the remote sensing infrared bright temperature (BT) of MODIS/Terra satellite, we obtained the following results: Firstly, the remote sensing infrared bright temperature appeared significant anomalous increase in the very large area, up to more than 150,000 km<sup>2</sup> in two years before Wenchuan M8.0 earthquake and in one year before Yushu M7.1 earthquake, and the occurrence time of earthquake was closer, the anomalous increase range of the BT was higher and the area of it was larger. Secondly, the anomalous increase area of BT before the Wenchuan M8.0 earthquake was larger than that of Yushu M7.1 earthquake, which may indicate that there was a certain correlation between the size of anomalous area and magnitude. The statistic of anomalous numbers in monthly departure image of BT showed that anomalous increase of BT of continuous three months in one year was considered as the background level, and the anomalous increase of BT of more than six months in one year, which had medium term indicating significance for the occurrence time of  $M \geq 7.0$  strong earthquake in BT increase area in 1~2 years.

**Key words:** MODIS; remote sensing infrared bright temperature; Wenchuan M8.0 earthquake; Yushu M7.1 earthquake