第35卷 第4期 2013年12月

甘肃岷县6.6地震前柴达木地块中东段

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:以MODIS/Terra 21 通道卫星红外亮温为数据源,使用小波方法对2013年7月22日甘肃岷县—漳县 M6.6 地震前柴达木地块中东段的红外亮温低频趋势信息进行了分析。结果显示:在地震前4个月里柴达木地块中 东段的红外亮温出现了2次明显的升温变化过程,每次升温持续时间1个月左右;柴达木地块中东段5.级以上 地震与红外升温异常的对应关系表明5.6级以下的地震可能不足以在地表产生大幅度的红外升温异常;超过2 倍标准差线的大幅度升温异常对6级左右的地震具有短期指示意义。 关键词:甘肃岷县—漳县 M6.6地震; MODIS; 红外遥感;柴达木地块中东段 中图分类号:P315.728 文献标识码:A 文章编号:1000-0844(2013)04-789-04 DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.04.789

Analysis of Satellite Infrared Anomaly in Middle and Eastern Parts of Qaidam Block prior to Minxian M_s6.6 Earthquake

ZHANG Tie-bao, LU Qian, LIU Fang, XIN Hua (Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu Sichuan 610041, China)

Abstract: Remote sensing of rock mechanics has been used to determine that temperature changes in rocks are related to changes in rock volume. During elastic deformation, compression (expansion) of volume causes an increase (decrease) in temperature. Therefore, research of temperature abnormalities on the surface prior to earthquakes should consider areas of ground deformation by earthquakes. Qaidam block is closely connected to earthquakes such as the July 22, 2013, Minxian $M_86.6$ earthquake in Gansu province, and Global Positioning System (GPS) data indicate that the middle and eastern parts of Qaidam block underwent compression. Therefore, research of the anomalous increase in infrared radiation by remote sensing prior to the earthquake should include data of infrared levels in the middle and eastern parts of Qaidam block. In the present study, infrared abnormalities are determined by remote sensing in the middle and eastern parts of Qaidam block prior to the July 22, 2013, Minxian $M_86.6$ earthquake. On the basis of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

基金项目:四川省地震局地震科技专项(LY1304)

作者简介:张铁宝(1971-),男(汉族),工程师,主要从事卫星红外遥感地震预测应用研究. E-mail: teibaozhang@163.com

收稿日期:2013-11-18

(MODIS) data of infrared bright temperature determined through remote sensing, we analyzed lowfrequency information of average bright temperature extracted from wavelet decomposition in the middle and eastern parts of Qaidam block. The following results were obtained: In the middle and eastern parts of Qaidam block, infrared bright temperature showed a significant anomalous increase twice in four months prior to the earthquake, the duration of which was approximately one month. No significant anomalous increase was noted between March 1, 2004, and February 28, 2013. Therefore, we conclude that the anomalous increase in bright temperature recorded prior to the Minxian earthquake was related to that earthquake. Moreover, among all $5 M \ge 5.0$ earthquakes occurring in the middle and eastern parts of Qaidam block between January 1, 2004, and September 18, 2013, only one showed an anomalous increase of bright temperature prior to the Minxian earthquake, which may indicate that such temperature increases did not appear on the surface prior to M < 5.6 earthquakes in the middle and eastern parts of Qaidam block. Further, such increases were short-term, which indicates the significance of anomalous increases in bright temperature for the occurrence of M6.0earthquakes in the middle and eastern parts of Qaidam block.

Key words: Minxian M_s6.6 earthquake in Gansu province; MODIS; infrared remote sensing; Qaidam block

0 引言

地震前存在热辐射异常现象已被以往的研究所证 实。不同学者利用各种不同的卫星遥感资料采用不同的 分析方法对众多典型震例进行了研究[1-8],取得了许多有 价值的研究成果。在许多典型地震前相关地区都曾发现 有显著的红外异常增温现象,且增温的范围大,多数在几 万平方公里以上。目前对红外增温异常现象形成的机理 仍没有统一的认识,主要有以下几种观点:(1)地下岩层 中的温室气体从岩石裂隙中上升溢出到地面,引起大气 成分改变,导致温室效应使大气增温;(2)断层摩擦生热 或者岩层变形的应变能转化成辐射能导致增温;(3)地壳 活动增强导致温室气体大量释放和电(磁)异常场的形 成,在电场作用下,低空大气出现异常的增温效应。由于 震前增温异常面积很大,且成面状分布,而地下温室气体 的溢出需靠通道实现,形成大范围的面状溢出分布可能 性较小,笔者倾向于可能性更大的"岩层变形的应变能转 化成辐射能导致增温"的机理解释,在分析与强震有关的 红外增温区时应从面上关注与强震孕育相关的变形区。

2013年7月22日在甘肃岷县-漳县交界发生了 M6.6 地震,现场应急科考组考察的初步结论认为,岷县-漳县 震区位于南北地震带的甘东南地区,大地构造上所示柴 达木地块的东边界带。本次地震与临潭-宕昌断裂带的 中南段关系密切,该地区受青藏高原构造作用影响^[9]。 GPS研究结果表明柴达木地块西部的运动速率为(11.4± 1.5) mm/a,方向 NE27.6°;东部运动速率为(9.4±1.4) mm/a, 方向由 NE转为E^[10]。柴达木地块东边界受力主要来自柴 达木地块的推挤,从柴达木地块东西部运动的速度差异 可看出柴达木地块中东段为受压变形区。本文对与岷 县-漳县 M6.6 地震孕育存在联系的柴达木地块中东段(图 1 阴影部分)的 MODIS(中分辨率成像光谱仪)卫星红外亮 温资料用小波方法提取其低频趋势信息,详细分析岷县 一嶂县 M6.6 地震前的趋势变化异常现象。



图 1 活动地块分布图 (地块边介引目张培展す^m) Fig. 1 Map of the active blocks

1 卫星遥感资料与数据处理方法

本研究选用MODIS/Terra 21 通道卫星红外亮温资料, 利用小波方法提取并分析 MODIS 红外亮温的低频趋势变 化。

1.1 卫星遥感资料

Terra卫星1999年12月18日发射升空,为极轨卫星, 其轨道高度为705 km,扫描宽度2330 km。MODIS是Terra卫星搭载的一种对地观测仪器,有36个光谱通道,分布 在0.4~14 μm的离散电磁波谱范围内¹¹²¹。遥感与实测地 表温度对比研究表明,分析几十天以上的变化,选用白天 和夜间的遥感数据产品没有实质性区别¹¹³¹,文中只提取红 外亮温低频趋势变化,选用白天数据已能满足需求。文

791

中选用的白天过境的经过定标定位后的21通道(3.929~ 3.989 μm)红外数据的空间分辨率为1km,红外亮温利用 普朗克公式对21通道的MODIS 1B数据进行计算得到。

1.2 数据处理方法

小波变换作为一种时频分析方法被广泛应用于各个 领域。小波变换具有多分辨率分析的特点,可以对各周 期分量进行时间定位。小波变换通过改变时间-频率窗 口形状可很好解决时间分辨率和频率分辨率的矛盾,在 时间和频率域都有很好的局部化性质,它有一个弹性的 时-频窗,随着信号的不同频率成分在时间域自动动态调 节取样的疏密^[14-17]。

函数f(t)以小波ψ(t)为基的连续小波变换为

$$W_f(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi_{a,b}(t)dt$$
$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi(\frac{t-b}{a})$$

式中 $\psi_{a,b}(t)$ 为小波基函数,通过基本小波 $\psi(t)$ 伸缩和 平移生成;其中a和b同为实数,a是基函数的尺度伸缩因 子,b是时间平移参数。

笔者在分析大空间尺度的亮温变化时,不对柴达木 地块中东段内部所有单个象元逐一提取分析,而对分析 区内所有象元的均值进行分析,利用 Daubechies 小波提 取均值的低频趋势信息。Daubechies 小波系通常记为 dbN,N是小波的序号,取值为1,2,3…,10等。Daubechies 小波具有正交性、紧支撑性以及不对称性,且光滑性与N 成正比¹¹⁶。文中基于MATLAB小波工具箱,用db4小波对 柴达木地块中东段9年多的亮温均值数据进行了处理,当 分解到5阶时,尺度部分(低频)保留了2个月以上周期的 信息,文中小波分解的目的是提取几十天以上的低频信 息,分解到5阶已能满足需求。

2 岷县一漳县 M6.6 地震前柴达木地块中东 段 MODIS 红外亮温趋势变化分析

2.1 柴达木地块中东段5级以上地震活动情况

如图2所示,在柴达木地块中东段,自2004年以来, 共发生5级以上地震6次(不包含余震),其中 M5.0~5.9 地震5次,M6.0~6.9地震1次,最大地震为2013年7月22 日甘肃岷县—漳县交界 M6.6地震。在5次 M5.0~5.9地 震中,震级全部≪5.5,其中 M5.0地震1次,M5.1地震1次, M5.2地震1次,M5.3地震1次,M5.5地震1次。



图 2 2004年以来柴达木地块中东段 5级以上地震 M-t图(不包含余震) Fig.2 The M-t plot for M≥5.0 earthquakes in the middle and eastern parts of Qaidam block form Jan. 1, 2004 to Sep. 18, 2013

2.2 柴达木地块中东段 MODIS 红外亮温低频趋势变化分析

图 3 为小波方法处理的结果,数据的分析时段为 2004年3月—2013年9月18日。图3(a)为柴达木地块中 东段亮温均值的原始数据。原始数据存在明显的夏高东 低季节特征,存在很多高频信息,强震孕育是大时间尺度 的过程,与强震有关的红外增温变化过程也可能是一个 较长的时间过程,本文数据处理的主要目的是去掉这些 高频信息,提取几十天以上周期的低频趋势信息。图 3 (c)为小波分解得到的柴达木地块中东段亮温均值低频 信息与其背景场。背景场是对小波分解提取得到的9年 多低频信息利用同期数据计算均值的方法得到。图 3(d) 为低频信息与背景场的差值(下文中简称为差值),在图 中标有差值的2倍和3倍标准差线。柴达木地块中东段 为受压变形区,遥感岩石力学实验表明,岩石温度变化与体积变化有关,压缩升温^[18-19],因此文中只分析升温异常。在分析图3(d)差值曲线时,以2倍标准差线为异常 判定界线,超过2倍标准差线为异常。

从图3(c)和图3(d)中可看出,在2004年3月—2013 年9月18日间,超过2倍标准差线的升温异常过程共出现 了2次,分别为2013年3月1日—2013年4月19日和2013 年6月3日—7月4日(图3(c)、(d)红色箭头处),2次升温异 常均超过3倍标准差线,升温幅度大。在升温异常出现后 比较短的时间里,2013年7月22日甘肃岷县—漳县交界 发生了*M*6.6地震。

3 结论与讨论

(1) 在9年多的分析时段内,柴达木地块中东段仅在

2013年出现了2次大幅度的红外升温异常过程,根据出现大幅度升温异常后1~4个月内发生了甘肃岷县—漳县 M6.6地震的现象,分析认为2013年3月1日~2013年4月 19日和2013年6月3日~7月4日出现的2次大幅度升温 异常与岷县-漳县M6.6地震存在关联。

(2) 从柴达木地块中东段5级以上地震与MODIS卫 星红外升温异常的对应关系可看出,在分析时段内发生 的所有 < 5.6级地震前, 红外亮温无升温异常现象出现, 只有 2013 年 7 月 22 日甘肃岷县-漳县 M6.6 地震前红外亮 温出现了大幅度的升温异常。这表明在柴达木地块中东 段, 5.6级以下地震的孕育可能不足以在地表产生大范围 大幅度的红外升温异常。超过2倍标准差线的大幅度升 温异常对柴达木地块中东段6级左右的地震具有短期指 示意义。



Fig.3 The result of BT by wavelet analysis in the middle and eastern parts of Qaidam block

参考文献(References)

[1] 强祖基,赁常恭.青海共和7级地震卫星热红外临震增温前 兆[J].现代地质,1992,6(3):297-300.

Qiang Z J, Lin C G. Satellite Thermal Infrared Impending Temperature Increase Precursor of Gonghe Earthquake With Magnitude 7.0 Qinghai Province[J]. Geoscience, 1992, 6(3): 297-300. (in Chinese)

- [2] 强祖基,赁常恭,李玲芝.卫星热红外图像亮温异常-短临震兆[J].中国科学(D辑),1998,28(6):564-573.
 Qiang Z J, Lin C G, Li L Z, et al. Satellite Infrared Brightness Temperature Anomaly-Earthquake Imminent Precursor [J].Science in China(Series D),1998,28(6):564-573. (in Chinese)
- [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.

Liu D F, Luo Z L, Peng K Y.OLR Anomalous Phenomena before Strong Earthquakes[J].Earthquake, 1997, 17(2): 126-132. (in Chinese)

[4] 刘德富,康春丽.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,,2005,313(1):37-39.

Liu D F, Kang C L.Radiation Anomalism before Sumatra Island M8.7 Earthquake[J].Recent Development in World Seismology, 2005, 313(1):37-39. (in Chinese)

- [5] 康春丽,陈正位,陈立泽,等.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,2003,25(1):12-15. Kang C L, Chen Z W, Chen L Z, et al. Analysis on the Satellite Infrared Anomaly Feature before West to Kunlun Mountain Pass M8.1 Earthquake[J].Northwestern Seismological Journal,2003,25(1):12-15. (in Chinese)
- [6] 康春丽,张艳梅,刘德富,等.汶川8.0级大地震的长波辐射 征象[J].地震,2009,29(1):116-120.
 Kang C L, Zhang Y M, Liu D F, et al.Long-Wave-Radiation Patterns Prior to the Wenchuan M8.0 Earthquake[J].Earthquake,2009,29(1):116-120. (in Chinese)
- [7] 徐秀登,徐保华.芦山地震的红外增温异常分析[J].地学前缘,2013,20(3):25-28.

Xu X D, Xu B H.The Infrared Warming Abnormality Analysis of Lushan Earthquake[J].Earth Science Frontiers, 2013, 20(3): 第35卷 第4期

25-28. (in Chinese)

[8] 张铁宝,路茜,刘放,等.汶川和玉树地震前 MODIS 卫星红外 异常分析[J].地震研究,2013,36(4):496-501.

Zhang T B, Lu Q, Liu F, et al. Analysis on Infrared Anomalous Increase of MODIS Satellite before Wenchuan *M*8.0 and Yushu *M*7.1 Earthquakes[J].Journal of Seismological Research, 2013, 36(4):496-501. (in Chinese)

[9] 甘肃岷县—漳县6.6级地震应急科考组.甘肃岷县-漳县6.6 级地震孕育和发震构造背景[EB/OL].甘肃地震信息网, 2013(2013-11-1). http://www.gssb.gov.cn/pub/dxdz/dxzqgk/ 2013/07/26/1374801668430.html#.

The Expedition Team of Minxian M6.6 Earthquake. The Seismogenic Systems and Tectonic Background of Minxian M6.6 Earthquake[EB/OL]. Gansu Earthquake Information Network, 2013(2013-11-1). http://www.gssb.gov.cn/pub/dxdz/ dxzqgk/2013/07/26/1374801668430.html#.

- [10] 李延兴,杨国华,李智,等.中国大陆活动地块的运动与应 变状态[J].中国科学:D辑,2003,33(增刊):65-81.
 Li Y X, Yang G H, Li Z, et al.The Movement and the Strain Status of Active Blocks in China Mainland[J].Science in China:Series D,2003,33(Suppl.):65-81. (in Chinese)
- [11] 张培震,邓起东,张国民,等. 中国大陆的强震活动与活动地块[J].中国科学:D辑,2003,33(增刊):12-20.
 Zhang P Z, Deng Q D, Zhang G M, et al.Strong Earthquake Activity and Active Blocks in China Mainland[J].Science in China:Series D,2003,33(Suppl.):12-20. (in Chinese)
- [12] 刘玉洁,杨忠东. MODIS遥感信息处理原理与算法[M].北 京:科学出版社,2001.

Liu Y J, Yang Z D.Principle and Algorithm for Processing MODIS Remote Sensing Data[M].Beijing: Science Press, 2001. (in Chinese)

[13] 陈顺云,刘培洵,刘力强,等.遥感与实测地表温度的对比
 分析及在地震研究中的意义[J]. 地球物理学报,2011,54
 (3):747-755.

Chen S Y, Liu P X, Liu L Q, et al.Comparative Analysis between Land Surface Temperatures Obtained by Field Measurement and Satellite Remote Sensing and Its Implication in Earthquake Research[J].Chinese J Geophys, 2011, 54(3): 747-755. (in Chinese)

- [14] 彭玉华.小波变换与工程应用[M].北京:科学出版社,1999.
 Peng Y H.Wavelet and Its Application to Engineering[M].
 Beijing:Science Press,1999. (in Chinese)
- [15] 李琪,林云芳,曾小苹.应用小波变换提取张北地震的震磁效应[J].地球物理学报,2006,49(3):855-863.
 Li Q, Lin Y F, Zeng X P. Wavelet Analysis as A Tool for Revealing Geomagnetic Precursors of the Zhangbei Earth-quake[J].Chinese J Geophys, 2006, 49(3): 855-863. (in Chinese)
- [16] 李登峰,杨晓慧.小波基础理论和应用实例[M].北京:高等 教育出版社,2010.

Li D F, Yang X H.Basic Theory of Wavelet and Its Application Examples[M].Beijing: Higher Education Press, 2010. (in Chinese)

- [17] 解滔,杜学彬,刘君,等.汶川 M&0、海地 Mw7.0 地震电磁信号小波能谱分析[J].地震学报,2013,35(1):61-71.
 Xie T, Du X B, Liu J, et al. Wavelet Power Spectrum Analysis of the Electromagnetic Signals of Wenchuan Ms8.0 and Haiti Mw7.0 Earthquakes[J]. Acta Seismologica Sinica, 2013, 35(1):61-71. (in Chinese)
- [18] 马瑾,陈顺云,扈小燕,等.大陆地表温度场的时空变化与 现今构造活动[J].地学前缘(中国地质大学(北京);北京大 学),2010,17(4):1-14.

Ma J, Chen S Y, Hu X Y, et al.Spatial-temporal Variation of the Land Surface Temperature Field and Present-day Tectonic Activity[J].Earth Science Frontiers, 2010, 17(4): 1-14. (in Chinese)

[19] 陈顺云,马瑾,刘培洵,等.利用卫星遥感获取现今构造活动信息的热物理指标研究[J].中国科学,2012,42(2):211-216.

Chen S Y, Ma J, Liu P X, et al. A Thermal Physical Index to Explore Current Tectonic Activity with Satellite Remote Sensing[J].Science in China, 2012, 42(2):211-216. (in Chinese)