

刘军、马未宇、姚琪等, 2019, 2017年新疆精河 $M_s 6.6$ 地震遥感大气温度变化特征分析, 中国地震, 35(1), 109~116.

2017年新疆精河 $M_s 6.6$ 地震 遥感大气温度变化特征分析

刘军¹⁾ 马未宇²⁾ 姚琪²⁾ 康春丽²⁾ 岳冲²⁾

1) 防灾科技学院, 河北三河 065201

2) 中国地震台网中心, 北京 100045

摘要 在中国地震台网中心 2016 年底利用热红外遥感技术预测 2017 年新疆西部地区为潜在 $M_s 6.6 \pm 0.2$ 地震危险区的基础上, 分析 2017 年 8 月 9 日精河 $M_s 6.6$ 地震临震时段引潮力变化, 并选用 18 时(UTC)中国大陆近地表 50m 高度处的遥感大气温度数据, 以震前引潮力值最高点时刻(8 月 1 日)为时间背景, 获取地震前后(8 月 2~13 日)连续的大气温度日增量分布图像, 跟踪分析精河 $M_s 6.6$ 地震临震大气温度变化。结果显示: 地震发生在天体引潮力由高峰—低谷连续周期变化的低谷时段, 而大气温度变化过程显示, 在全国大范围内, 仅震中附近大气温度升高明显, 其异常演化经历了起始—加强—高峰—衰减—再增强—发震—平静的动态过程。增温过程与潮汐变化具有同步性, 这表明引潮力对本次地震具有触诱发的作用, 而大气温度变化反映了本次地震地应力的变化过程, 也说明在地震预测实践中, 从中、短临多时间尺度综合分析遥感大气温度和引潮力变化, 将有助于提高地震预测能力。

关键词: 精河 $M_s 6.6$ 地震 天体引潮力 遥感大气温度

[文章编号] 1001-4683(2019)01-0109-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地震发生前伴随的热异常现象早已为国内外所关注(Mogi, 1984; 强祖基等, 1997; 叶秀薇等, 2010)。20 世纪 80 年代前苏联学者 Gorny 等(1988)发现中亚加兹利地震震前出现了大面积卫星热红外(10.5~12.5 μm)辐射增强异常现象, 开辟了利用卫星热红外遥感技术研究地震的新途径。卫星遥感技术为瞬时探测大范围近地空间热红外异常的动态变化提供了技术可能, 具有常规地表定点测量手段无法比拟的优势。震前卫星热异常研究已成为地震学界和遥感学界共同关心的研究热点(Tronin et al, 2002; Tramutoli et al, 2001; Ouzounov et al, 2004; 屈春燕等, 2006; Saraf et al, 2008; 张元生等, 2010)。但是, 由于红外辐射穿过大

[收稿日期] 2019-01-11; [修定日期] 2019-02-01

[项目类别] 廊坊市科学技术研究自筹经费项目(2016013109)、中央高校基本科研业务费项目(2016013109)共同资助

[作者简介] 刘军, 男, 1986 年生, 硕士, 讲师, 主要从事地震遥感与数字减灾等方面的教学与研究工作。

E-mail: junliu.3s@hotmail.com

姚琪, 通讯作者, 女, 1981 年生, 副研究员, 研究方向为活动构造三维建模及有限元模拟。

E-mail: yqvoxelgeo@163.com

气层时,会受大气运动、云量等因素的干扰,仅利用红外辐射无法准确获得震前热异常变化。相对应地,大气作为地-气能量交换的介质,其温度综合反映近地表的热量变化(李召良等,2016),美国国家海洋和大气管理局(NOAA)提供的近地表大气温度数据可有效反映下垫面热力变化,能够准确捕获地表的热信息。另外,地震是地球构造应力积累达到一定强度后,突破了岩石弹性破裂临界值,快速释放的过程,具有孕震过程持续性和短临突发性的特征(李延兴等,2001)。因此,从不同时间尺度(年、日)认识地震热异常变化,对地震预测有重要意义。本文在年度预测基础上,将天体引潮力变化与遥感大气温度相结合,对2017年8月9日新疆精河 $M_s6.6$ 地震前后大气温度变化特征进行讨论。

1 构造背景及年度预测危险区域介绍

据中国地震台网测定,2017年8月9日7时27分52秒,新疆博尔塔拉蒙古自治州精河县(44.27°N , 82.89°E)发生 $M_s6.6$ 地震,震源深度约11km,震中距精河县城约37km,震源机制解显示该地震属逆冲型(白兰淑等,2017)。地震发生在中国地震台网中心2016年底利用热红外遥感技术(大气温度、地面长波辐射参量)预测的2017年新疆西部 $M_s6.6\pm0.2$ 潜在地震危险区内(图1)(康春丽等,2016)。从构造背景上来说,该地震发生在博乐盆地南缘的库松木契克山前断裂向东延伸地带(图1)。该地区处于准噶尔板块与塔里木-天山板块之间的逆冲-褶皱构造活动带,为褶皱冲断构造自山前向盆地扩展的区域,具有极高的地震风险性,历史上曾发生过1812年尼勒克8.0级地震和1944年新疆新源 $M_s7.2$ 地震。2011年以来,这个区域发生过3次6级以上地震,分别为2011年尼勒克 $M_s6.0$ 地震、2012年新源 $M_s6.6$ 地震以及2017年精河 $M_s6.6$ 地震。

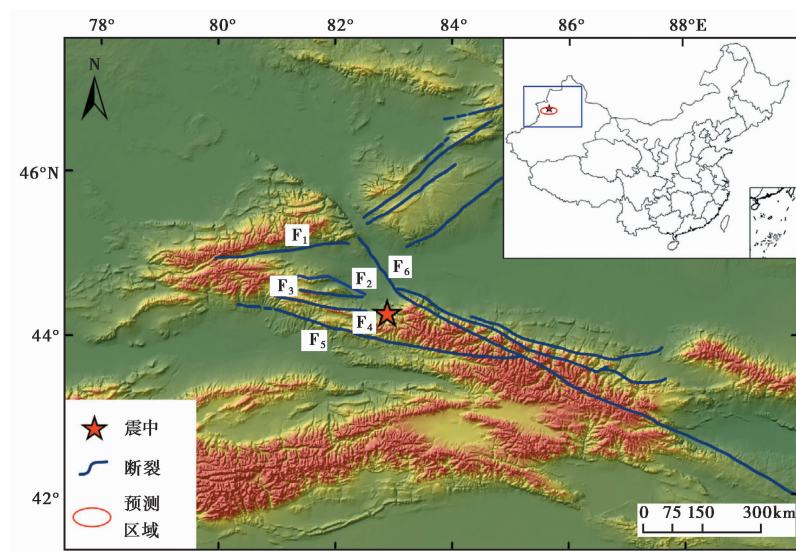


图1 精河地震震区构造与地震震前预测区域分布

F_1 :库松木契克断裂; F_2 :库松木契克山前断裂; F_3 :科古琴断裂; F_4 :喀什河断裂;
 F_5 :阿吾拉勒山南缘断裂; F_6 :博罗科努断裂

2 数据获取与处理方法

2.1 数据获取

由于大气作为地-气系统热能交换的中间介质,其温度变化综合反映了下垫面的热量变化。为此,本文在数据上选取近地表 50m 高度范围内的地表温度为研究对象,选用 NOAA 系列卫星提供的地面大气温度产品数据^①,该数据空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$,覆盖全球共 360×180 个格点,时间范围为 1948 年至 2019 年 3 月 13 日,时间分辨率为 4 次/天(UTC 00:00,06:00,12:00,18:00),具有空间分布广、数据连续、不受云层影响等特点(支星等,2014),因此,在地震监测研究中具有较大优势。

2.2 数据处理方法

为提取地震大气温度每日变化特征,本文采用气温日增量值分析方法,即地震前后每日大气温度与背景日同时次大气温度值相减,得到该区域发震前后异常增温变化图像。公式如下

$$\Delta T_i(x, y) = T_i(x, y) - T_{\text{background}}(x, y) \quad (1)$$

式中, $\Delta T_i(x, y)$ 代表格点 (x, y) 上的气温数值增量; $T_i(x, y)$ 代表格点 (x, y) 上的气温数值; $T_{\text{background}}(x, y)$ 代表固定背景日格点 (x, y) 上的温度数值; x 为纬度; y 为经度; i 为日期。

从式(1)可以看出,利用气温日增量值分析方法在提取温度异常时,背景日的选择非常关键。因此,为减少多年统计处理方法中,由于数据处理背景时间长度差异(5、15、30 年)带来的不确定性(屈春燕等,2006;任静等,2015),引入天体引潮力变化周期为背景日的选择提供时间指导。主要考虑如下:首先,天体引潮力是已知作用于地球最大的周期性变化的力,当地震孕育构造应力达到临震阶段,被认为有可能触发地震(Blackett et al, 2011; Ma et al, 2012、2015、2018),将其引入地震前后大气温度演化特征的研究中,可探索引潮力与遥感大气温度变化间可能存在的关联性;其次,天体引潮力是目前唯一可预先准确计算的确定物理力学参量,能够为热异常研究提供明确的具有力学含义的时间指示,而热异常可为引潮力诱发的地震提供应力状态监视。

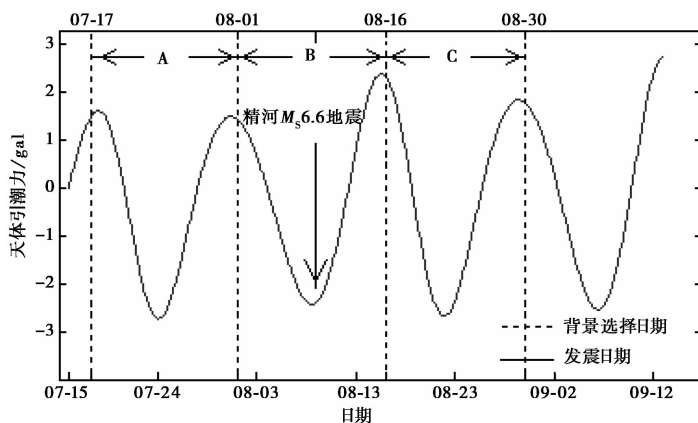


图 2 2017 年 8 月 9 日新疆精河 $M_s 6.6$ 地震前后天体引潮力时序变化

^① <https://www.esrl.noaa.gov/>。

为此本文根据美国 USGS 提供的震源机制解,采用 Ma 等(2007)的方法计算并绘制了本次地震震中位置的引潮力随时间(2017 年 7 月 15 日~9 月 15 日)连续变化的曲线(图 2),如图 2 所示,从 2017 年 7 月 15 日始,天体引潮力经历了 3 个连续的由高峰—低谷—高峰的明显变化周期(A,B,C)。8 月 9 日发生地震(箭头所指处),引潮力处于低谷相位,显示引潮力

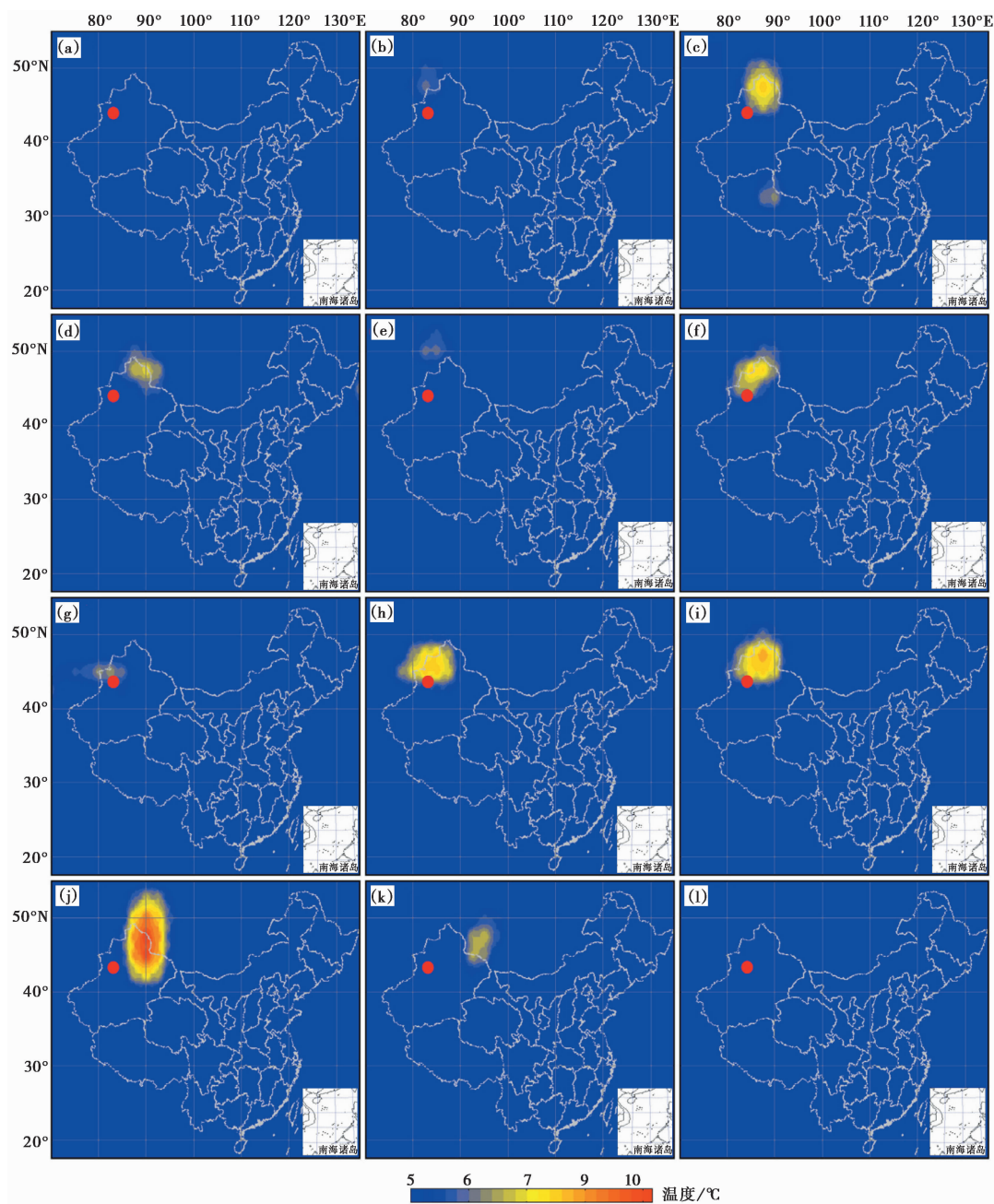


图 3 2017 年 8 月 2~13 日新疆精河 $M_s 6.6$ 地震增温异常时空演化
红色圆圈为震中

诱发地震区域的构造应属逆冲断层(马未宇等,2006),这与精河地震震源机制解结论一致,显示引潮力对该地震具有一定的诱发作用。

根据以上方法步骤,在本次地震中,选取 2017 年 8 月 1 日(图 2 中引潮力变化周期最近的高点的转折点,也是引潮力作用转折点)的大气温度数据为背景,将 2017 年 8 月 2~13 日,空间范围为 $17^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$ 、 $72^{\circ}\sim 135^{\circ}\text{E}$ 的相同时次的地面大气温度值与该背景大气温度值相减,获得地震前后逐日连续变化图像,作为本次地震临震异常分析的依据。

3 精河地震前后大气温度时空变化特征分析

图 3 为新疆精河 $M_s6.6$ 地震增温异常时空演化图。图 3 显示,在中国大陆范围内,仅震中及其邻近位置,地震前后大气温度发生明显变化。8 月 2 日处于平静状态,8 月 3 日在震中北部异常出现,增幅达到 6°C ,8 月 4 日异常增强并向西南扩散,于 8 月 7 日异常进一步增强,增幅达到 8°C ,8 月 8 日再次衰减,8 月 9 日发震当天,辐射增强再次出现,达到 8°C ,8 月 10~11 日,受到地震影响,地表破裂,产生大量地表热。震后 8 月 12 日异常开始消减。8 月 13 日异常完全消失。可以看出本次地震过程中,大气温度异常演化在时间上经历了起始增温—加强—衰减—高峰—快速衰减—平静的演化过程;在空间上呈现出不均匀、孤立的团块分布。另外,本次地震中,大气温度热异常位于震中位置的右侧,这主要是由于这段时间的地表主控风向为西北风,造成了大气热流扩散迁移。另外,在无地震发生的 A、C 周期,则没有观测到明显的增温过程(图 4、5)。

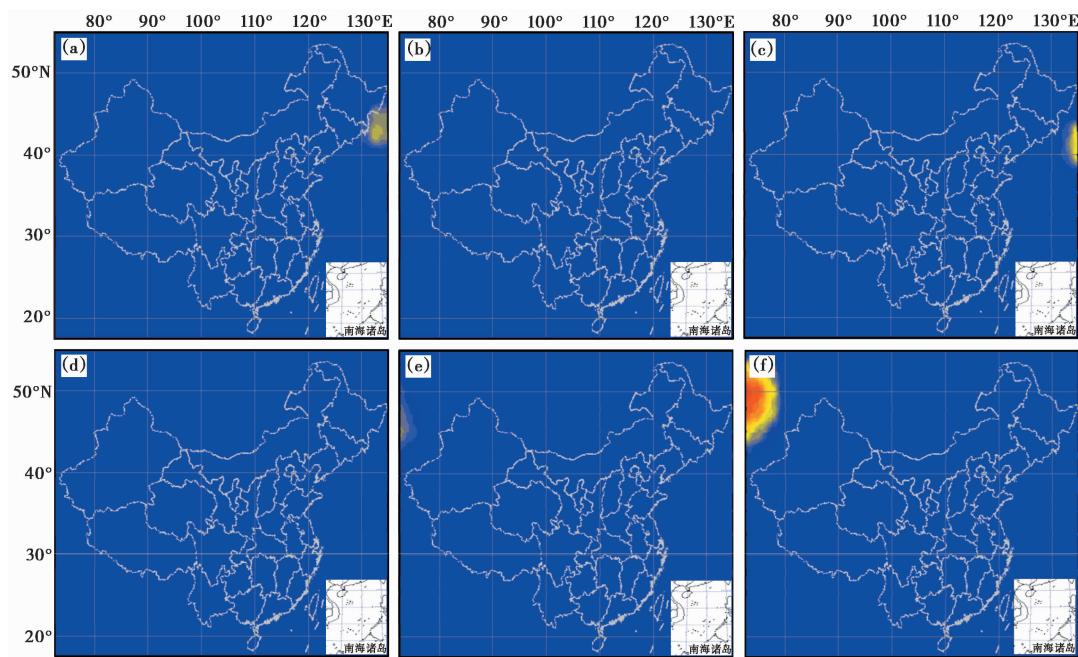


图 4 2017 年 7 月 18~23 日新疆精河 $M_s6.6$ 地震震前 A 潮汐周期温度时空演化

以上分析表明本次增温与地震存在一定的关联性。本次地震前大气温度变化过程,基本符合岩石受力破裂在空间上经历挤压—岩石微破裂—岩石破裂扩展—应力闭锁—破裂终

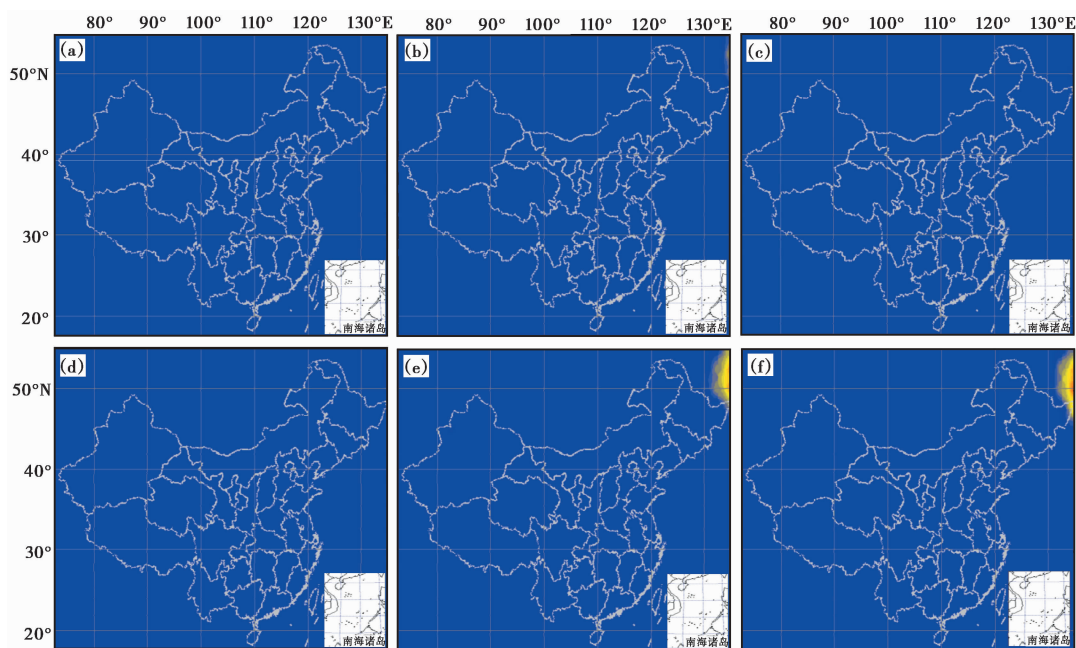


图 5 新疆精河 $M_s 6.6$ 地震震后 C 潮汐周期温度时空演化 (2017.8.31~2017.9.5)

止的演化特征(吴立新等,2004),为本次地震过程应力状态演化提供遥感解释(Ma et al, 2018)。

4 结论与讨论

基于引潮力变化周期获得的精河地震前后大气温度演化过程显示,在全国大范围内,仅震中附近震前增温,且具有唯一性,说明大气温度变化与地震存在关联性。结果表明:将引潮力引入到地震热异常识别中,一方面,可能为地震遥感短临监测提供可预先计算的、确定的震前时间背景指示,为震前热异常识别增添力学依据,消除由于遥感数据处理背景选择的不同所造成的遥感地震监测结论的不确定性;另一方面,遥感热异常变化也可能为引潮力诱发地震提供应力状态指示。但引潮力的变化究竟是如何触诱发地震的发生,如何影响发震构造区域热异常,特别是在复杂下垫面条件下的地震,由于受到地物、地貌以及大气环流等非震因素的影响,其机理还不清楚。未来需要深入研究引潮力诱震模式的物理机制,探索热异常的前兆性与规律性特征,以便提高特定区域强震前的早期预测能力。

另外,本次地震预测的实践结果也表明:将中、短临时间尺度的地震热异常变化研究结合,不仅体现地震孕震过程的持续性,也兼顾短临突发性特征,对地震预测有重要意义。

最后,本次地震震前 8 月 8 日大气温度增温出现一次相对衰减的过程,其表征的岩石应力闭锁期与芦山地震前热异常变化具有相似性(解滔等,2015;Ma et al,2015),这一现象可能为地震的最终到来提供指示。

致谢: 感谢申旭辉研究员在写作思路上的指导,感谢审稿专家的建设性修改意见。

参考文献

- 白兰淑、刘杰、张莹莹等, 2017, 2017 年精河 6.6 级地震余震序列重新定位和发震构造, 中国地震, **33**(4), 703~711.
- 康春丽、马未宇、刘德福, 2016, 基于地震遥感技术对中国大陆 2017 年度地震活动形势分析, 2017 年度中国地震趋势预测研究报告, 156~159.
- 李延兴、许力生、胡新康等, 2001, 日、月对孕震区的水平引潮力与震源机制的关系, 地震, **21**(1), 1~6.
- 李召良、段四波、唐伯惠等, 2016, 热红外地表温度遥感反演方法研究进展, 遥感学报, **20**(5), 899~920.
- 马未宇、徐秀登、徐保华等, 2006, 印度尼西亚 $M_w 9.0$ 地震序列与增温异常和天体引潮力的相关关系研究, 西北地震学报, **28**(2), 129~133, 158.
- 强祖基、孔令昌、郑兰哲等, 1997, 卫星热红外增温机制的实验研究, 地震学报, **19**(2), 197~201.
- 屈春燕、单新建、马瑾, 2006, 地震活动性热红外异常提取方法研究, 地球科学进展, **21**(7), 699~705.
- 任静、康春丽、马未宇等, 2015, 临震天体引潮力和地面长波辐射 OLR 异常, 中国地震, **31**(2), 447~455.
- 吴立新、刘善军、吴育华等, 2004, 遥感-岩石力学(I)——非连续组合断层破裂的热红外辐射规律及其构造地震前兆意义, 岩石力学与工程学报, **23**(1), 24~30.
- 解滔、郑晓东、康春丽等, 2015, 2013 年 4 月 20 日芦山 $M_s 7.0$ 地震前热红外亮温异常分析, 地震地质, **37**(1), 149~161.
- 叶秀薇、黄元敏, 2010, 卫星热红外遥感资料在地震预测中应用的现状, 华南地震, **30**(2), 26~35.
- 张元生、郭晓、钟美娇等, 2010, 汶川地震卫星热红外亮温变化, 科学通报, **55**(10), 904~910.
- 支星、徐海明、米卫红等, 2014, 中国东北和西北地区三种再分析资料与探空资料的温度对比, 气象与环境学报, **30**(6), 147~157.
- Blackett M, Wooster M J, Malamud B D, 2011, Exploring land surface temperature earthquake precursors: A focus on the Gujarat (India) Earthquake of 2001, Geophys Res Lett, **38**(15), L15303.
- Gorny V I, Salman A G, Tronin A A, et al, 1988, The earth's outgoing IR radiation as an indicator of seismic activity, Proc Acad Sci USSR, **301**, 67~69.
- Ma W Y, Kong X Z, Kang C L, et al, 2015, Research on the changes of the tidal force and the air temperature in the atmosphere of Lushan (China) $M_s 7.0$ earthquake, Therm Sci, **19**(Sup 2), S487~S493.
- Ma W Y, Wang H, Li F S, et al, 2012, Relation between the celestial tide-generating stress and the temperature variations of the Abruzzo $M = 6.3$ earthquake in April 2009, Nat Hazards Earth Syst Sci, **12**(3), 819~827.
- Ma W Y, Zhang X C, Dai X F, et al, 2007, A preliminary study on the use of NCEP temperature images and additive tectonic stress from astro-tidal-triggering to forecast short-impending earthquakes, Earthq Res China, **21**(1), 85~93.
- Ma W Y, Zhang X D, Liu J, et al, 2018, Influences of multiple layers of air temperature differences on tidal forces and tectonic stress before, during and after the Jiujiang earthquake, Remote Sens Environ, **210**, 159~165.
- Mogi K, 1984, Fundamental studies on earthquake prediction, In: A Collection of Papers of International Symposium on Continental Seismicity and Earthquake Prediction, 619~652, Beijing: Seismological Press.
- Ouzounov D, Freund F, 2004, Mid-infrared emission prior to strong earthquakes analyzed by remote sensing data, Adv Space Res, **33**(3), 268~273.
- Saraf A K, Rawat V, Banerjee P, et al, 2008, Satellite detection of earthquake thermal infrared precursors in Iran, Nat Hazards, **47**(1), 119~135.
- Tramutoli V, Di Bello G, Pergola N, et al, 2001, Robust satellite techniques for remote sensing of seismically active areas, Annal Geofis, **44**(2), 295~312.
- Tronin A T, Hayakawa M, Molchanov O A, 2002, Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China, J Geodyn, **33**(4/5), 519~534.

Analysis of Atmospheric Temperature Change Characteristics Based on Remote Sensing During the 2017 Jinghe (Xinjiang) $M_s6.6$ Earthquake

*Liu Jun*¹⁾ *Ma Weiyu*²⁾ *Yao Qi*²⁾ *Kang Chunli*²⁾ *Yue Chong*²⁾

1) Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, Hebei, China

2) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

Abstract Based on the prediction that the $M_s6.6\pm0.2$ area would be a potential seismic hazard zone in Western Xinjiang in 2017 by using thermal infrared remote sensing technology at the end of 2016 by China Earthquake Networks Center, the variation of tidal force during the imminent earthquake is analyzed. At the same time, the peak point of tidal force (August 1, 2017) is used as a time indicator for temperature anomaly background selection. Using atmospheric temperature data at the height of 50m near the surface of Chinese mainland at 18:00 (UTC), the continuous daily incremental atmospheric temperature distribution images before and after the earthquake (8.2–8.13) were acquired, and the short-term and imminent atmospheric temperature changes of the Jinghe $M_s6.6$ earthquake on August 9, 2017 were tracked and analyzed. the results show that the earthquake occur in the low valley period of continuous periodic variation of celestial tidal generating force. the process of atmospheric temperature change shows that the atmospheric temperature increases obviously only near the epicenter in a wide range of the country, and the change went through the process: initial rise—enhancement—reaching abnormal peak—attenuation—re-enhancement—earthquake occurred—return to normal. the synchronization between the temperature-increasing process and the tidal change indicates that the tidal-generating force has the function of triggering earthquake. the change of atmospheric temperature reflects the process of in-situ stress change during the earthquake, and also indicates that comprehensive analysis of atmospheric temperature and tidal force on medium and short temporal scales will help to improve earthquake prediction ability in the practice of earthquake prediction.

Key words: Jinghe $M_s6.6$ Earthquake; Tidal force of celestial body; Remote sensing of atmospheric temperature