

张治广、张璇、张元生等,2017,2017年8月9日精河 M_s 6.6 地震热红外亮温异常分析,中国地震,33(4),757~763。

2017 年 8 月 9 日精河 M_s 6.6 地震 热红外亮温异常分析

张治广¹⁾ 张璇²⁾ 张元生²⁾ 王在华¹⁾

1) 新疆维吾尔自治区地震局,乌鲁木齐市新市区科学二街 338 号 830011

2) 甘肃省地震局,兰州 730000

摘要 利用相对功率谱方法对风云卫星热红外亮温数据进行处理,发现精河 M_s 6.6 地震前存在明显的前兆异常。异常时空演化特征为 2017 年 7 月 12 日在北天山地震带中、东部和阿尔泰山地震带中部开始出现相对功率谱高值聚集现象,随后幅值和面积逐渐增大,持续至 7 月 27 日异常面积和幅度达到最大值,然后逐渐减弱,2017 年 8 月 14 日后基本恢复正常,异常持续大约 1 个月,8 月 9 日在异常区域边缘发生精河 M_s 6.6 地震。地震震中所在的北天山地震带平均相对功率谱值时序变化特征与异常区域时间演化过程类似,地震发生在平均相对功率谱由最大值恢复至正常背景值的过程中。

关键词: 热红外 亮温异常 地震前兆 精河 M_s 6.6 地震

[文章编号] 1001-4683(2017)04-0757-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

据中国地震台网测定,2017 年 8 月 9 日 7 时 27 分新疆博尔塔拉蒙古自治州精河县(44.27°N,82.89°E)发生 M_s 6.6 地震(图 1),震源深度约 11km,震中距精河县城约 38km,位于库松木契克山前断裂附近。该断裂为逆冲性质的全新世活动断裂,1900 年以来距震中 200km 范围内发生 11 次 6 级以上地震。矩张量反演结果(<http://www.cea-igp.ac.cn/tpwx/275882.html>)表明此次地震为逆冲型。

为了尽量减少地震造成的灾害损失,国内外许多研究人员积极开展地震前兆观测研究,并对地震预测进行探索。自 Gorny 等(1988)发现 1984 年加兹利地震震前卫星热红外辐射值异常后,震前卫星热红外异常研究得到了迅速发展,已成为地震学、遥感学研究所关注的热点(Tronin et al, 2002; Saraf et al, 2003、2008; Ouzounov et al, 2004; Choudhury et al, 2006; Pulinets et al, 2006)。我国的卫星热红外与地震间关系的研究始于 20 世纪 80 年代末,马瑾院士对前苏联进行学术访问时带回了这方面研究的进展情况,随后强祖基等(1990、1998)、徐秀登等(1990、1994)开始了对这一领域的探索研究。遥感热红外技术在地震预测中的应

[收稿日期] 2017-09-18; [修订日期] 2017-11-28

[项目类别] 中国地震局震情跟踪青年课题(2016010401)、新疆地震科学基金课题(201403)共同资助

[作者简介] 张治广,男,1984 年生,硕士,工程师,主要从事地震热红外和地震电磁前兆观测分析研究。

E-mail: zhiguang1018@126.com.

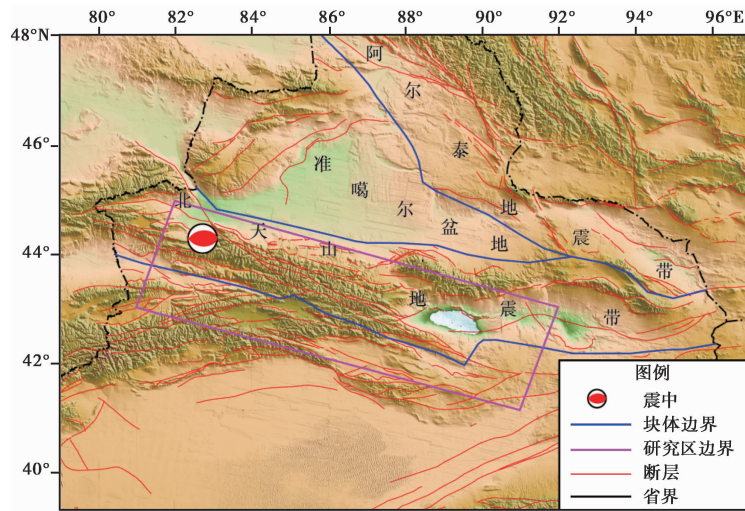


图 1 精河 M_s 6.6 地震震中和周边断层分布

用研究主要集中在以下 3 个方面:①震前热红外增温异常识别提取方法研究;②热红外异常与地震三要素间关系的研究;③地震热红外增温的机制研究。强祖基等(1990、1998)、徐秀登等(1990、1994)的研究主要通过目视解译法来获得遥感图像增温区域的演变趋势,同时结合地震地质知识对震例进行总结,得出卫星红外亮温增温异常与地震三要素间的关系,并提出“地球放气说”的红外增温机制。遥感-岩石力学实验研究(耿乃光等,1992;吴立新等,2004)表明,岩石从受压到破裂前,以及断层黏滑失稳前的红外辐射温度场都出现随应力-应变发展的规律性升温现象。Tronin 等(2002)、吕琪琦等(2000)对一些地震进行研究发现,红外影像上的热异常与地壳线性构造和断裂带有关。马瑾等(2006)利用卫星红外数据提取断层活动信息,证明了热红外信息可以作为研究断层相互作用的新的独立物理量。荆凤等(2009a、2009b)对中国大陆地区长波辐射背景场特征展开研究,并将其应用到中强震的震例分析中。陈顺云等(2004、2009)提出并提取了地表亮温年变基准场,为利用热红外辐射数据提取地壳活动信息提供了参考背景。多位学者(吴立新等,2008;魏乐军等,2008;康春丽等,2009;马未宇,2008;张元生等,2010)分别使用不同的方法和热红外数据源对 2008 年汶川 8.0 级地震前热红外数据变化进行研究发现,震前存在热红外异常。相关研究(魏从信等,2013;张铁宝等,2013;徐秀登等,2013;张璇等,2013;解滔等,2015)也表明,在近几年中国大陆 7 级以上强震前同样存在热红外异常现象。

本文应用张元生等(2010)、郭晓等(2010)提出的相对功率谱方法及其开发的 FIXSAT-ELLITE 软件对风云静止气象卫星热红外亮温数据进行处理,获取地震前后热红外数据时空变化图像,研究精河 M_s 6.6 地震前热红外亮温数据有无前兆异常。

1 数据选取和处理方法

1.1 数据选取

本文使用的卫星资料是中国静止气象卫星 FY-2E、FY-2G(FY-2E 的替代卫星)的红外遥

感亮温产品数据,来源于中国气象局国家卫星气象中心。FY-2E、FY-2G 分别发射于 2008 年 6 月 15 日、2014 年 12 月 31 日,定点于 105°E 赤道上空,距地面约 35000km,星下点红外分辨率为 5km,有效观测范围为 $60^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{S}$ 、 $45^{\circ}\sim 165^{\circ}\text{E}$,每 30min 或 1h 对地球约 1/3 面积观测 1 次。红外观测波段分别为 10.3~11.3、11.5~12.5 μm ,热红外亮温观测每小时进行 1 次 (<http://www.nsmc.org.cn/NewSite/NSMC/Home/Index.html>)。与极轨卫星相比,静止卫星的优势在于卫星与观测点的相对位置几乎是固定的,观测点到卫星的热辐射传播路径的影响也是固定的。由于白天太阳照射会引起地表温度的大幅升高,难以将由构造活动或地震孕育引起的地表温度小幅变化从周围背景中区分出来,并且光照条件的不同也会造成不同区域日间地表温度存在差异,不利于异常识别,且白天人为活动也会对数据造成一定的干扰。为了减少太阳辐射及人为活动对数据的影响,尽可能真实地反映当地地表辐射亮温,在进行大数据量运算的同时,为保证数据跟踪分析的时效性,故选取北京时间 01:00~05:00 (GMT17:00~21:00)时间段的 5 次观测数据进行分析。

1.2 数据处理方法

首先,用补窗法对各像元每天 5 个时间点的亮温数据进行处理,去除短时间范围内云层对数据的部分影响,再取其平均值作为每天该像元的观测值,对所有像元每天数据作同样的处理得到各像元的日均值序列。然后,利用小波变换对每个像元进行 2 阶尺度函数与 7 阶尺度函数相减的处理,以去除连续亮温数据信息中所包含的地球基本温度场(直流部分)、年变温度场、日变温度场、雨云和寒热气流等非震因素引起的温度变化,保留地震因素引起的温度微变化信息,得到在时间域里正负相间的亮温相对变化波形数据。考虑短临地震异常出现的时间一般为 10~90 天,故以 $n=64$ 天为窗长、 $m=1$ 天为滑动窗长对小波变换后的每个像元作傅里叶变换,计算其功率谱,并对每一像元的所有频率的功率谱作相对幅值处理,得到功率谱相对变化的时空数据(张元生等,2010;郭晓等,2010)。最后,利用计算得到的时-频空间数据进行全时空和全频段扫描,提取并识别异常区域时空变化特征。

2 结果分析

尽管采用了上述方法对资料进行处理以去除各种干扰因素,但结果图像中仍然存在一些离散的高值噪声异常点。为得到可能与构造活动、地震等有关的异常信息,在前人研究的基础上(解滔等,2015),对结果图像分析时采用以下 4 条判别准则识别异常信息:①主要异常像元需集聚成一定规模的异常区域,而非零星离散分布;②显著异常需持续 20 天以上;③异常区域需沿构造断裂带分布,尤其是活动断裂带;④相对功率谱值达到其平均功率谱幅值的 4 倍以上。

2.1 地震热红外异常时空演化过程分析

图 2 为精河 M_s 6.6 地震前后红外亮温功率谱异常时空演化图。由图 2 可见,2017 年 7 月 12 日在北天山地震带中、东部和阿尔泰山地震带中部(朱令人,2002)开始出现相对功率谱高值聚集现象,随后幅值、面积逐渐增大,至 7 月 18 日高值区域集中成片出现,主要分布在北天山地震带中东部、阿尔泰山地震带和准噶尔盆地内部,7 月 27 日幅值、面积达到最大值,然后至 7 月 30 日高值异常区域向西迁移且延伸至北天山地震带西部,随后逐渐减小,至 8 月 14 日高值基本消失,异常持续约 1 个月。异常由最大值逐步恢复至正常背景值的过程中,即 8

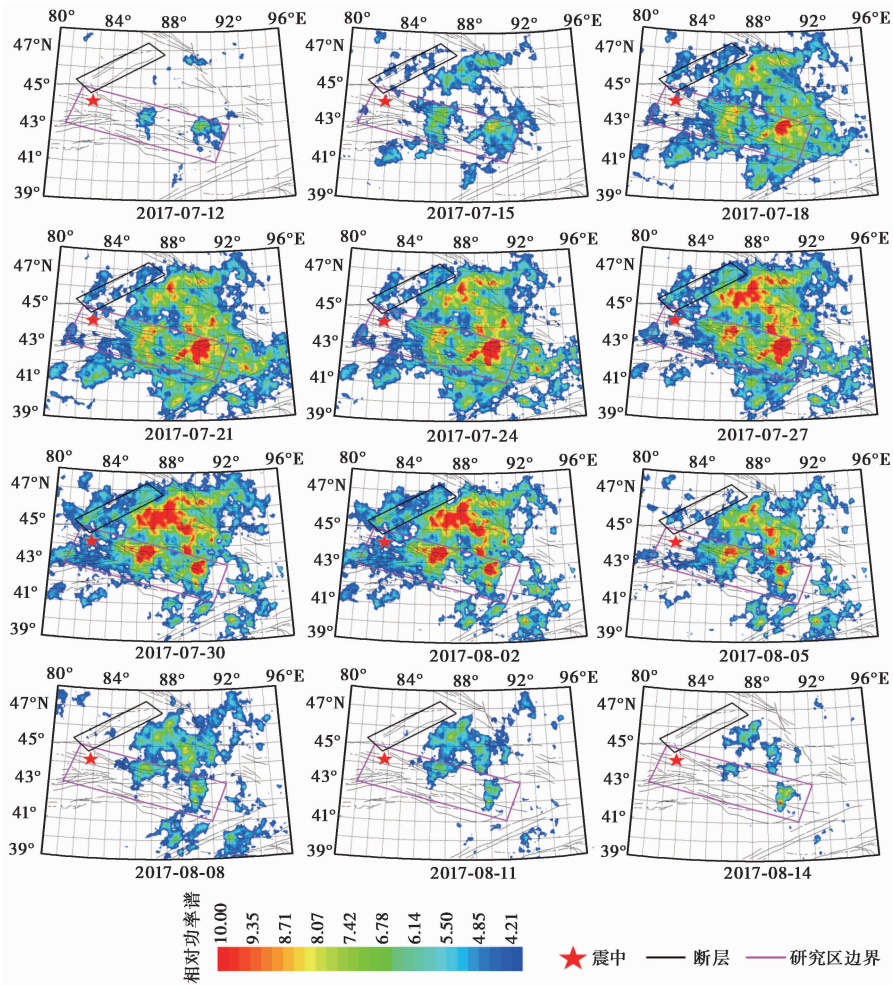


图 2 精河 $M_s6.6$ 地震前后红外亮温相对功率谱异常时空演化

月 9 日在异常区域边缘发生精河 $M_s6.6$ 地震。

2.2 亮温功率谱平均值时间变化特征

为了分析北天山地震带红外亮温功率谱在精河 $M_s6.6$ 地震前后的变化过程,对图 2 中紫色四边形区域的平均值进行研究,其相对幅值时间变化序列见图 3。由图 3 可见,2010 年以来,研究区亮温平均功率谱相对幅值基本在 4 倍均值(正常背景值)以下,2010~2016 年共达到 4 倍均值 5 次,但持续时间较短且幅度较小,未达到异常判定指标。2017 年 7 月 16 日相对幅值为 4.21,开始超过 4 倍均值线,7 月 20 日达到最大值 9.34;8 月 8 日降到 4 倍均值以下,高值异常持续 24 天。精河 $M_s6.6$ 地震前,研究区亮温平均功率谱相对幅值变化过程与图 2 整个异常区域的时间演化过程类似,地震发生在亮温平均功率谱相对幅值由最大值恢复至正常背景值的过程中。

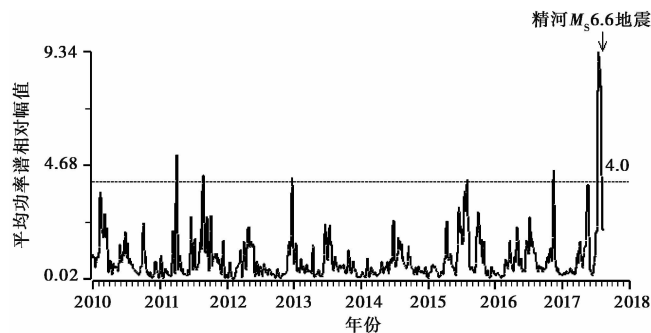


图3 精河 M_s 6.6 地震亮温平均功率谱相对幅值时序变化

3 结论与讨论

以上分析结果表明,精河地震前热红外亮温资料相对功率谱出现显著异常。7月12日在北天山地震带中、东部和阿尔泰山地震带中部开始出现相对功率谱高值聚集现象,随后幅值、面积逐渐增大,至7月18日高值区域集中成片出现,主要分布在北天山地震带中东部、阿尔泰山地震带和准噶尔盆地内部,7月27日幅值、面积达到最大值,然后逐渐减弱,8月14日后高值基本消失,异常持续大约1个月。8月9日在北天山地震带西部的库松木契克山前断裂发生精河 M_s 6.6 地震。

地震实际上是在区域构造应力作用下,应变在活动断裂带上某些部位不断积累并达到极限状态后局部岩层突发失稳破裂的结果(Molnar et al, 1975)。目前,对于地震热红外异常机理的解释主要有以下几个方面:①应力挤压导致地下流体向地表扩散,存在地热和富含油气的地区震前更容易出现热异常现象(Cicerone et al, 2009; 张元生等, 2010);②震前裂隙通道增加,深部热能向上对流(王洪涛等, 1995; Tronin et al, 2002);③岩石变形破裂面错动及摩擦导致增温(吴立新等, 2006; 徐忠印等, 2015)。精河地震前热红外相对功率谱异常在空间上主要分布在北天山地震带、阿尔泰山地震带和准噶尔盆地,这可能是在印度洋板块向北水平推进动力的作用下(Molnar et al, 1975),应力沿着塔里木盆地向北传递,北天山地震带、阿尔泰山地震带和准噶尔盆地内部发生相对变形,在地震发生前,应力逐渐积累达到岩层破裂的临界状态,贯通地表的裂隙数量也逐渐增多,地壳流体成分溢出和断层裂隙摩擦错动造成增温,同时,伴随裂隙增多的过程,地下岩层与地表的热对流也随之增强,可能是这些因素的共同作用使震前热红外异常在上述地区集中出现,具体哪个因素占主导地位,目前的研究还无法判定。

利用相对功率谱方法对以往震例的研究结果表明,地震通常发生于异常区域边缘(张元生等, 2010; 张治广等, 2017; 张璇等, 2017)。精河地震发生在异常区域的边缘——北天山地震带西部,震中位于SWW向的准噶尔盆地西缘断裂带与北天山地震带交汇部位,而不是异常幅度大、持续时间长的北天山地震带中东部和阿尔泰山地震带,这可能与断裂带的构造环境、动力环境、岩石成分性质及裂隙发育度、应力积累状态和区域大气环境等因素有关。震前异常过程表现为异常出现—增强—达到极大值—衰减—异常消失—发震的过程,与岩石实验结果相似(徐忠印等, 2015),即红外辐射呈现初始阶段变化很小、弹性阶段缓慢增加、塑

性阶段快速增加以及临破裂前回落的变化特征。综上所述,本文讨论的热红外亮温相对功率谱异常可能是精河 $M_s6.6$ 地震的前兆异常,该项异常可能对发震时间、震中具有一定的指示意义。

致谢:感谢中国气象局国家卫星气象中心免费提供热红外亮温资料,感谢两位审稿专家的建设性修改意见。

参考文献

- 陈顺云、马瑾、刘培询等,2004,中国地表亮度温度年变基准场,地震地质,26(3),528~538。
- 陈顺云、马瑾、刘培询等,2009,中国大陆地表温度年变基准场研究,地球物理学报,52(9),2273~2281。
- 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。
- 郭晓、张元生、钟美娇等,2010,提取地震热异常信息的功率谱相对变化法及震例分析,地球物理学报,53(11),2688~2695。
- 荆风、申旭辉、康春丽等,2009a,中强地震前的长波辐射异常震例研究,地震,29(4),117~122。
- 荆风、申旭辉、康春丽等,2009b,中国大陆地区卫星长波辐射背景场特征初步分析及震例研究,地震,29(增刊),90~97。
- 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,地震,29(1),116~120。
- 吕琪琦、丁鉴海、崔承禹,2000,1998 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,地震学报,22(2),183~188。
- 马瑾、陈顺云、刘培询等,2006,用卫星热红外信息研究关联断层活动的时空变化——以南北地震构造带为例,地球物理学报,49(3),816~823。
- 马未宇,2008,汶川地震前的 NCEP 异常现象,科技导报,26(10),36~38。
- 强祖基、侯常恭、李玲芝等,1998,卫星热红外图像亮温异常——短临震兆,中国科学:D 辑,28(6),564~573。
- 强祖基、徐秀登、侯常恭,1990,卫星热红外异常——临震前兆,科学通报,35(17),1324~1327。
- 王洪涛、强祖基,1995,应用卫星热红外异常预测地震的研究,地球科学进展,10(6),537~541。
- 魏从信、张元生、郭晓等,2013,玉树 7.1 级地震热红外与长波辐射异常,地球物理学进展,28(5),2444~2452。
- 魏乐军、郭坚峰、蔡慧等,2008,卫星热红外异常——四川汶川 8.0 级大地震的短临震兆,地球学报,29(5),583~591。
- 吴立新、刘善军、陈云浩等,2008,汶川地震前卫星热红外异常与云异常的现象,科技导报,26(10),32~36。
- 吴立新、刘善军、吴育华等,2004,遥感岩石力学(1):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。
- 吴立新、刘善军、吴育华,2006,遥感岩石力学引论——岩石受力灾变的红外遥感,北京:科学出版社。
- 解滔、郑晓东、康春丽等,2015,2013 年 4 月 20 日芦山 $M_s7.0$ 地震前热红外亮温异常分析,地震地质,37(1),150~161。
- 徐秀登、强祖基、侯常恭,1990,突发性地面增温与临震前兆,地震地质,13(2),243~249。
- 徐秀登、徐保华,2013,芦山地震的红外增温异常分析,地学前缘,20(3),25~28。
- 徐秀登、徐向民、强祖基,1994,红外临震异常的基本特征与成因机理再认识,浙江师大学报(自然科学版),17(3),43~47。
- 徐忠印、刘善军、吴立新,2015,岩石变形破裂红外与微波辐射变化特征对比研究,东北大学学报(自然科学版),36(12),1738~1742。
- 张铁宝、路茜、刘放等,2013,汶川和玉树地震前 MODIS 卫星红外异常分析,地震研究,36(4),496~501。
- 张璇、张元生、郭晓等,2017,尼泊尔 8.1 级地震卫星热红外异常解析,地学前缘,24(2),227~233。
- 张璇、张元生、魏从信等,2013,四川芦山 7.0 级地震卫星热红外异常解析,地震工程学报,35(2),272~277。
- 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。
- 张治广、张元生、王在华,2017,阿克陶 $M_s6.7$ 和且末 $M_s5.8$ 地震前红外亮温异常分析,内陆地震,31(2),130~137。
- 朱令人,2002,新疆通志(十一卷,地震志),307~311,乌鲁木齐:新疆人民出版社。
- Choudhury S, Dasgupta S, Saraf A K, et al, 2006, Remote sensing observations of pre-earthquake thermal anomalies in Iran, Int J Remote Sensing, 27(20), 4381~4396。

- Cicerone R D, Ebel J E, Britton J, 2009, A systematic compilation of earthquake precursors, *Tectonophysics*, **476**, 371~396.
- Gorny V L, Salman A G, Tronin A A, 1988, The earth outgoing IR radiation as an indicator of seismic activity, *Proceeding of the Academy of Sciences of the USSR*, **301**(1), 67~69.
- Molnar P, Tapponnier P, 1975, Cenozoic tectonics of Asia; Effects of a continental collision, *Science, New Series*, **189**(4201), 419~426.
- Ouzounov D, Freund F T, 2004, Mid-infrared emission prior to strong earthquakes analyzed by remote sensing data, *Advances in Space Research*, **33**, 268~273.
- Pulinets S A, Ouzounov D, Karelin A V, et al, 2006, The physical nature of thermal anomalies observed before strong earthquakes, *Physics and Chemistry of the Earth*, **31**, 143~153.
- Saraf A K, Choudhury S, 2003, Earthquakes and thermal anomalies, *Geospatial Today*, **2**(2), 18~20.
- Saraf A K, Rawat V, Banerjee P, et al, 2008, Satellite detection of earthquake thermal infrared precursors in Iran, *Nat Hazards*, **47**, 119~135.
- Tronin A A, Hayakawa M, Molchanov O A, 2002, Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China, *Journal of Geodynamics*, **33**, 519~534.

Analysis of thermal infrared brightness temperature precursory anomaly before the Jinghe $M_s6.6$ earthquake on August 9, 2017

Zhang Zhiguang¹⁾ Zhang Xuan²⁾ Zhang Yuansheng²⁾ Wang Zaihua¹⁾

1) Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

2) Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, China

Abstract Using the relative power spectrum method to deal with thermal infrared brightness temperature data of the Fengyun satellite, it is found that there is obvious precursory anomaly before occurrence of the Jinghe $M_s6.6$ earthquake. The characteristic of abnormal temporal and spatial evolution is that high-value aggregation of the brightness temperature power spectrum appears in the middle, east of northern Tianshan seismic belt and the middle of Altai earthquake belt on July 12, 2017, and then the amplitude and area increases gradually, reaches its maximum on the July 27th, then gradually weakens and returns to normal on August 14th, 2017. The anomaly lasts nearly 1 month. The Jinghe $M_s6.6$ earthquake occurred at the edge of the anomaly area on August 9th. The average power spectrum time series of the Jinghe $M_s6.6$ epicentral region are similar to the temporal evolution of the anomaly region. The earthquake occurred when the process of the average relative power spectral value restored from the maximum value to the normal background.

Key words: Thermal infrared; Brightness temperature anomaly; Earthquake precursor; Jinghe $M_s6.6$ earthquake