

玉树、九寨沟地震前长波辐射变化研究*

杨 星¹, 张铁宝¹, 陈 锐², 龙 锋¹, 甘桂琴¹

(1. 四川省地震局, 四川 成都 610000; 2. 甘孜藏族自治州气象局, 四川 康定 626000)

摘要: 利用风云三系卫星 FY-3A 和 FY-3C 的长波辐射产品, 构建长波辐射背景场, 计算玉树 $M_s7.1$ 和九寨沟 $M7.0$ 地震前后羌塘、巴颜喀拉、柴达木块体的距平变化及异常指数以期获得异常信息。结果表明: ①玉树和九寨沟地震前都出现了 OLR 值的升高。②玉树震前, 羌塘块体、巴颜喀拉块体异常指数最大分别为 4.2 倍、3.5 倍标准差, 异常指数回落后, 地震发生; 九寨沟震前, 羌塘、巴颜喀拉和柴达木块体在 7 月下旬的异常指数分别超过 2.6, 2.78 和 1.1 倍标准差, 异常指数下降后, 地震发生。③2 次地震前, 距平和异常指数均存在异常, 二者的变动或许和块体间和块体内部应力积累和卸载有关, 也说明了震前长波辐射有记录区域异常现象的能力。

关键词: 风云卫星; 长波辐射; 距平; 异常指数

中图分类号: P315.72

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2020)01-0079-08

0 引言

长波辐射 (Outgoing Longwave Radiation, OLR) 是地表向外辐射的一种能量较低的热红外电磁波, 单位为 W/m^2 , 波长集中在 $4 \sim 120 \mu\text{m}$, 其数值会受大气温度、地表温度等因素的影响。卫星数据具有持续稳定、可大范围探测的优点, 可快速获取 OLR 数据, 这也使得 OLR 成为研究震前异常的新方法。目前, (美国国家海洋与大气管理局 NOAA) 的 OLR 数据是热红外与地震研究中应用最多的数据之一, 不同地区的多个地震表明, 震前在震中附近或偏离震中一定范围内存在 OLR 值增强现象 (刘德富, 2000; 康春莉等, 2009; 荆凤等, 2012; 戴勇等, 2014); 除震前有 OLR 值增强现象外, OLR 对华北地区短期发生 $M5$ 地震的可能性也具有指示意义 (康春莉等, 2006)。任静等 (2015) 结合临震天体引力潮起伏周期和 OLR 值变发现, 2010—2011 年川滇藏的 4 次地震前的 OLR 值距平都存在增强现象。

除 NOAA 的 OLR 数据外, 我国风云卫星也提供了 OLR 数据。孙珂等 (2017) 利用风云卫星 FY-2D 和 NOAA 的 OLR 数据, 研究了尼泊尔 2015 年 $M_s8.1$ 和 $M_s7.5$ 地震前的 OLR 值变化特征, 发现 NOAA 能记录到震前 OLR 值异常, FY-2D 能记

录到震前红外异常动态演化过程; 风云卫星 FY2E/G 的热红外资料也表明缅甸 $M_s6.9$ 震前存在显著亮度温度变化 (潘宇航等, 2017); 张治广等 (2018) 利用风云 FY2E/G 的热红外数据, 发现理塘 $M_s5.1$ 和杂多 $M_s6.2$ 地震前存在明显的异常变化。除这 2 种热红外资料外, 张铁宝等 (2013, 2015, 2016) 利用 (美国航空航天局 NASA) 的 MODIS 热红外资料研究四川及周边地区多个地震也发现震前存在热红外数据的明显上升。在国外, 也有许多基于 OLR 和其它热红外数据的震前异常研究, 也得到了震前存在辐射增强现象的结果 (Tronin *et al.*, 2002; Venkatanathan *et al.*, 2013; Ouzounov, Freund, 2004; Ouzounov *et al.*, 2006; Prakash, Srivastava, 2015)。

以往研究中, 少有利用风云三系卫星的 OLR 对地震进行研究的先例, 对地震周围相关块体单独进行异常指数的研究则更少。本文利用风云三系卫星 FY-3A 和 FY-3C 的 OLR 数据, 寻找 2010 年 4 月 14 日玉树 $M_s7.1$ 地震和 2017 年 8 月 8 日九寨沟 $M7.0$ 地震前后可能出现的异常信息。

1 构造背景及研究数据与方法

1.1 研究区构造背景

印度板块以 $50 \sim 60 \text{ mm/a}$ 的速度向北嵌入青藏

* 收稿日期: 2018-11-02.

基金项目: 四川省地震局地震科技专项 (LY1805) 和国家自然科学基金项目 (41604062) 联合资助.

高原,引起高原壳-幔物质向东蠕散(嵇少丞等, 2008; Tapponnier *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2004), 在与大陆板块的相互挤压作用下,产生旋转和转向变化。这一过程形成了诸多次级块体和断裂带,从而诱发了一系列地震,玉树地震与九寨沟地震就是在这样的构造背景下发生的(葛肖虹,王敏沛, 2011; 徐锡伟等, 2017; 胡晓辉等, 2019; Chen *et al.*, 2010)。

2010年玉树震区位于巴颜喀拉与羌塘2个次级地块相交的区域(图1),巴颜喀拉块体南侧NW向玉树-鲜水河左旋走滑引起玉树 $M_s7.1$ 地震。研究表明,该断裂在晚第四纪活动强烈,是一条与大地震的发生有密切联系的走滑断裂(刘云华等, 2010),玉树地震的余震主要沿着玉树断裂向ES向展布。

自1997年以来,围绕巴颜喀拉块体边界断裂带发生了一系列7.0级以上地震,这一区域是我国大陆强震的主体活动区。2017年九寨沟地震就发生在青藏高原东缘的巴颜喀拉地块与东部华南地块碰撞挤压的边界带上,震中位于左旋走滑断层东昆仑断裂带的分支断裂带上,震区附近还包含有塔藏断裂、虎牙断裂及岷江断裂等(易桂喜等, 2017)。

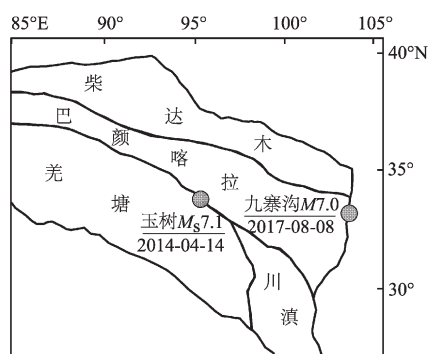


图1 玉树、九寨沟地震震中示意图

Fig. 1 Map showing the epicenters of the Yushu and the Jiuzhaigou earthquakes

1.2 数据与方法

本文 OLR 数据均来自于风云三系卫星,时间分辨率为旬,空间分辨率为 $1\ 000\ \text{m}$ ^①。风云三系的 3A 与 3C 都有 OLR 产品, FY-3A 的可获取时段为 2010 年 1 月至 2016 年 4 月, FY-3C 可获取

时段为 2014 年 5 月至 2018 年 11 月。考虑到玉树与九寨沟地震均发生在青藏高原东麓,因此将研究范围设定为: $(25^\circ \sim 40^\circ\text{N}, 90^\circ \sim 110^\circ\text{E})$, 这一范围包括了青藏高原 3 大次级块体——羌塘、巴颜喀拉、柴达木块体的东部,还包括川滇菱形块体的北部,是我国地震强活动区域之一。

利用热红外数据研究震前异常有 2 种常用方法,一是计算涡度(路茜等, 2014; 陶月潮等, 2015; 荆凤等, 2009, 2011; 戴勇等, 2014, 2015, 2016)、二是计算距平(梁阿全等, 2013; 丁风和等, 2006; 张铁宝等, 2013, 2015, 2016)。涡度指空间上某数值与其临近数值的差异,距平是指某时刻数值与该时刻多年平均值的差值。笔者实验过 2 种方法后,发现涡度方法在研究区域误报率高,不能提取有效异常,故认为距平更适合本研究区域。因此首先构建 OLR 背景场,再计算玉树和九寨沟地震前、后距平,并针对地震涉及的构造区,计算巴颜喀拉、柴达木、羌塘 3 个次级块体在地震前、后的异常因子,以获得异常信息。其中,背景场是某一旬在 2010—2017 年的平均值,本文共得到 36 个背景场数据,其表达式为:

$$\overline{S^*}(x_{ij}, y_{ij}, t) = \sum_{k=1}^n \frac{S(x_{ij}, y_{ij}, t_k)}{n} \quad (1)$$

式中: n 是某旬 OLR 数量,值为 8; $S(x_{ij}, y_{ij}, t_k)$ 表示经度为 x_{ij} , 纬度为 y_{ij} ; 时间 t 为第 k 旬的 OLR 值,而距平 D 定义为:

$$D = S(x_{ij}, y_{ij}, t_k) - \overline{S^*}(x_{ij}, y_{ij}, t) \quad (2)$$

在计算某一旬的距平时,其背景场的计算中不纳入该旬。为量化不同块体地震前、后的 OLR 值变化,提出异常指数 $\Delta E_anomaly(t)$, 其表达式为:

$$\Delta E_anomaly(t) = [S(x_{ij}, y_{ij}, t_k) - \overline{S^*}(x_{ij}, y_{ij}, t)] / \tau_t \quad (3)$$

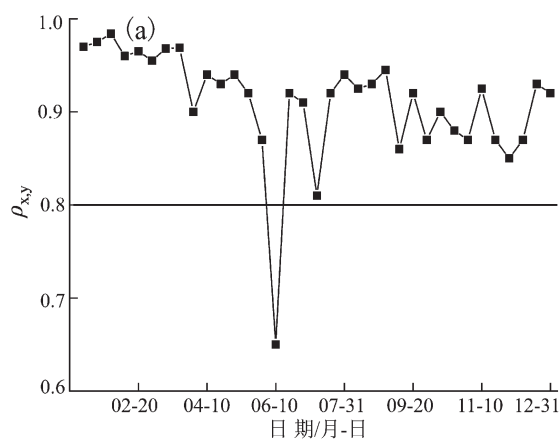
式中: τ_t 为 t 时刻的 OLR 值的标准差,多个研究表明震前往往都会存在异常指数超过多倍标准差的现象(Ouzounov, Freund, 2004; 张铁宝等, 2016)。

① 获取地址: <http://www.nsmc.org.cn>.

2 数据对比分析

背景场的构建往往需要足够长时间的数据,这样才能反映研究区域的一般情况。但 FY-3A 和 FY-3C 都不能单独满足要求,因此需要综合 2 种数据,即 2010—2015 年使用 FY-3A 的 OLR 数据,2016—2017 年使用 FY-3C 的 OLR 数据。结合 2 种数据前,需对 2 种数据的一致性进行研究。利用 2015—2016 年 4 月 FY-3A 和 FY-3C 的重叠期内数据,计算 Pearson 相关系数和二者的差,以确定是否具有-致性,限于篇幅,只展示部分结果,其表达式为:

$$\rho_{X,Y} = \frac{COV(X,Y)}{\delta_X \delta_Y} \quad (4)$$



式中: $\rho_{X,Y}$ 表示 Pearson 相关系数; X 与 Y 代表了变量; $COV(X,Y)$ 代表协方差; δ_X 和 δ_Y 表示标准差。依据 Pearson 相关系数定义: $\rho_{X,Y}$ 大于 0.8, 属于极强相关; $\rho_{X,Y}$ 在 0.6~0.8, 属于强相关。

图 2a 是 2 种数据在 2015 年的 $\rho_{X,Y}$, 图 2b 是 2016 年 1 月中旬 2 种数据的散点图。从图 2a 可见,除 2015 年 6 月中旬外, $\rho_{X,Y}$ 均超过了 0.8, 且 2015 年的 $\rho_{X,Y}$ 有 25 期超过 0.9, 为极强相关, 其最大值出现在 2015 年 2 月上旬, 为 0.984。散点图的意义在于说明 2 种数据的值越相近, 点越集中于 $y=x$ 轴(即对角线)两侧, 图 2b 中呈现集中分布特征, 在其余重叠时间上 2 种数据也具有相似的聚集特征。此外, 图中散点还表现出更多集中在低值区的特点, 这可能与研究区域地形主要是高原且温度本身较低有关。

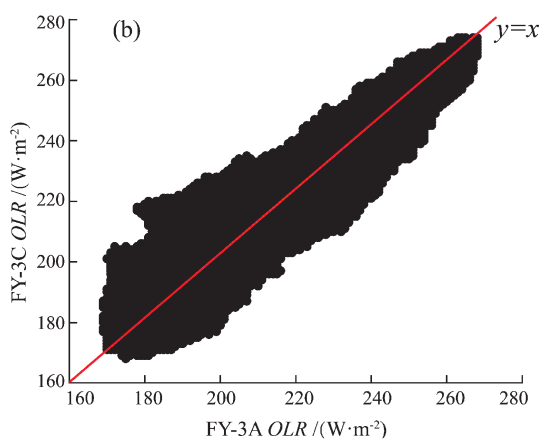


图 2 2015 年 FY-3A 与 FY-3C 相关系数 (a) 及 2016 年 1 月中旬散点图 (b)

Fig. 2 The correlation coefficient between FY-3A and FY-3C (a) and the scatter diagram of the middle period of ten days in January 2016 (b)

图 3 是 FY-3A 和 FY-3C 在 2016 年 4 月下旬的 OLR 空间分布图及 2 种数据的差, 本旬的 $\rho_{X,Y}$ 为 0.88, 图中显示 2 种数据在空间上极为相似, 其数据差值极

小, 基本集中在 -5~5。在其余重叠时间上, OLR 空间分布和二者的差也与图 3c 相似。因此, 结合 FY-3A 和 FY-3C 这 2 种数据进行研究是可行的。

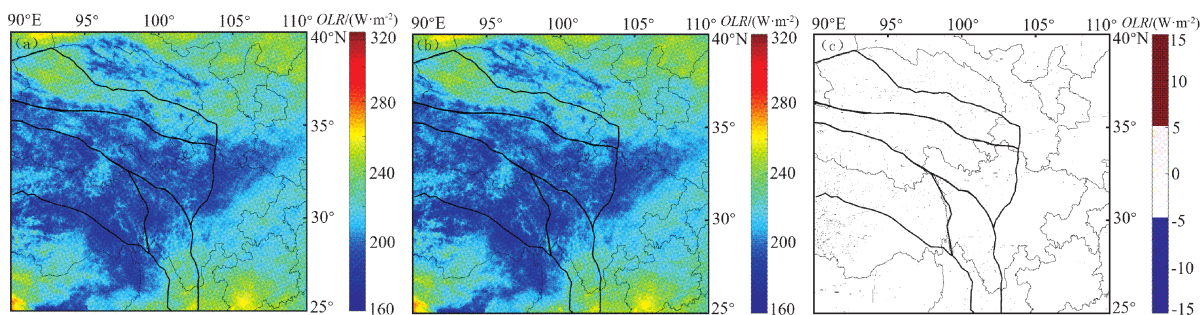


图 3 2016 年 4 月下旬 FY-3A (a) 与 FY-3C (b) 的 OLR 值空间分布及二者之差 (c)

Fig. 3 The spatial distribution of OLR of FY-3A (a) and FY-3C (b) in the last ten days of April 2016 and their difference (c)

3 长波辐射异常与异常指数结果分析

3.1 玉树地震震前异常

图4是2010年1月中旬至5月上旬玉树地震前、后每旬的 OLR 值的距平图像。玉树震前，从2010年1月中旬（图4a）开始，在羌塘块体的中部出现了 OLR 值升高的现象，且增量达到 20 W/m^2

以上，计算增幅发现，1月中旬旬的 OLR 值相较于背景场上升了19.6%。到1月下旬（图4b）， OLR 值升高现象从羌塘块体延伸到巴颜喀拉块体， OLR 值比背景场高3.5%，而后距平降低。从2月上旬到3月中旬（图4c~g）都没有 OLR 值大面积超过 20 W/m^2 的情况。但在3月下旬（图4h），距平值大幅上升，上升范围包括了羌塘块体、巴颜喀拉块体、柴达木块体以及四川盆地部分地区，部分

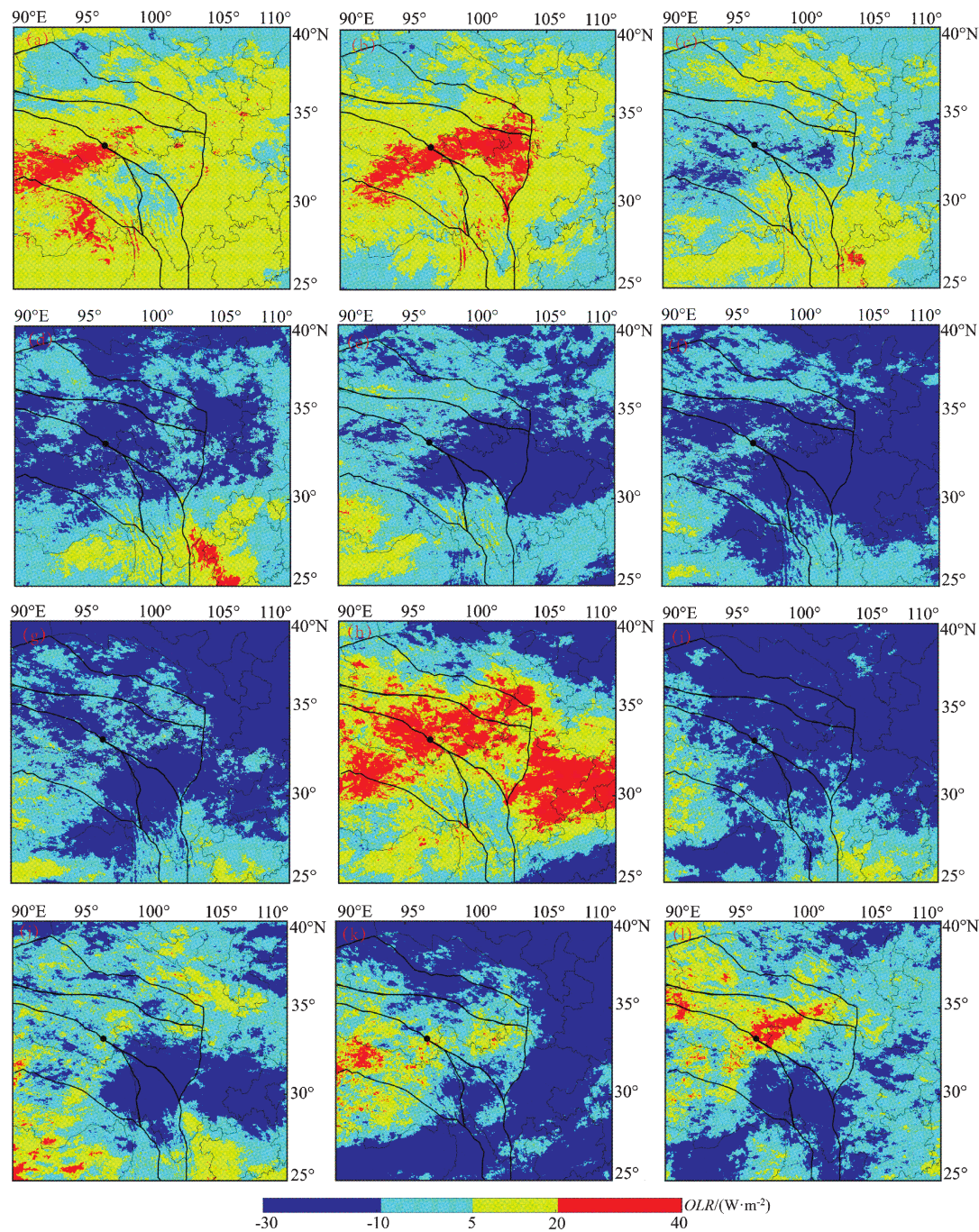


图4 2010年1月中旬—5月上旬研究区 OLR 值距平图

Fig.4 Anomaly of OLR from the middle ten days of January to the first ten days of May 2016

增量达到 20 w/m^2 以上, OLR 值增幅为 2.5% 。1月下旬和3月下旬 OLR 值空间上超过 20 w/m^2 的面积比1月中旬大,但增幅却比1月中旬低,这是因为这2旬 OLR 值在部分区域下降的幅度大于1月中旬。此后直至发震的4月中旬,均未出现大范围 OLR 值增强(图4i~j)。距平图像出现上述变化或许有如下的动力学原因:印度板块推挤时产生的应力扰动逐次通过青藏高原的羌塘、巴颜喀拉、柴达木块体向东推进,导致区域内作用增强,进而致使区域长波辐射增强,表现为在某些时间上出现 OLR 值升高现象。而距平上升和下降的反复出现,可能也说明了在震前存在应力的累积和卸载过程。

图5是2010年1月中旬至5月上旬玉树地震

前、后的异常指数的时间曲线图。在玉树地震前,3个块体的异常指数均出现了“下降—上升—下降—上升”的特点。巴颜喀拉块体的异常指数在1月中、下旬和3月下旬都超过了1倍标准差,分别达到了3.1,1.1和1.9倍,由此可知在这些时间段, OLR 值与背景场存在较大差异。柴达木块体在1月中旬异常指数超过标准差3.5倍,此后一直处于1倍标准差之下,但在3月下旬异常指数也有上升。羌塘块体在1月中、下旬和3月下旬异常指数分别为标准差的4.2,1.8和1.4倍。从数据呈现的结果可知,羌塘块体的异常值是3个块体中最高的一个,这是因为构造上,羌塘块体是青藏高原受挤压向东运动的第一受力块体,其次才是巴颜喀拉块体和柴达木块体。

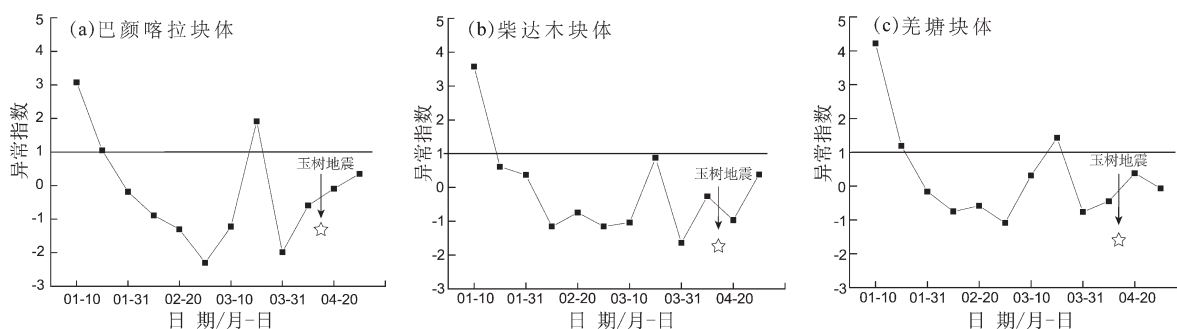


图5 玉树地震前后不同块体异常指数的时间曲线

Fig. 5 Time curve of anomaly index of different blocks before the Yushu earthquake

3.2 九寨沟地震震前异常

图6为2017年6月中旬—9月上旬九寨沟地震前、后区域 OLR 值距平图像。九寨沟震前,在7月下旬(图6e)出现了 OLR 值大面积高出背景场的现象。在羌塘、巴颜喀拉、柴达木块体,均出现了距平超过 30 w/m^2 的情况, OLR 值增幅为 8.3% ,是九寨沟地震研究时段内增幅最高的一旬(其余均小于0),说明7月下旬的 OLR 值与背景场存在显著差异。以往研究表明,九寨沟地震是在青藏高原东向推挤过程中,其东缘与华南地块触碰而在二级块体边缘发生的地震(Chen *et al.*, 2010),在7月下旬出现 OLR 值增强后,直至地震发生8月上旬(图6f),均未再出现 OLR 值大面积超过 30 w/m^2 的现象。九寨沟地震前只有一旬距平突出的原因或许是此处活动水平与青藏块体西部相比相对较弱。

图7是2017年6月中旬—9月上旬九寨沟地震前、后的异常指数,由图可见,3个块体均出现了先升高后下降的变化特点。且异常指数同时在7月下旬达到了最大值,分别超过了标准差的2.78,1.11和2.68倍,而其余时间上,未有超过1倍标准差的现象出现。巴颜喀拉块体的异常指数最高,或许与其是构造上引起九寨沟地震的主要块体有关,同时也说明在7月下旬 OLR 值明显异于背景场。

4 结论与讨论

本文结合了2010—2017年风云三系卫星FY-3A和FY-3C的逐旬 OLR 数据,通过建立 OLR 背景场,计算了玉树 $M_s 7.1$ 和九寨沟 $M 7.0$ 地震前后 OLR 值距平和不同次级块体异常指数,得到以下

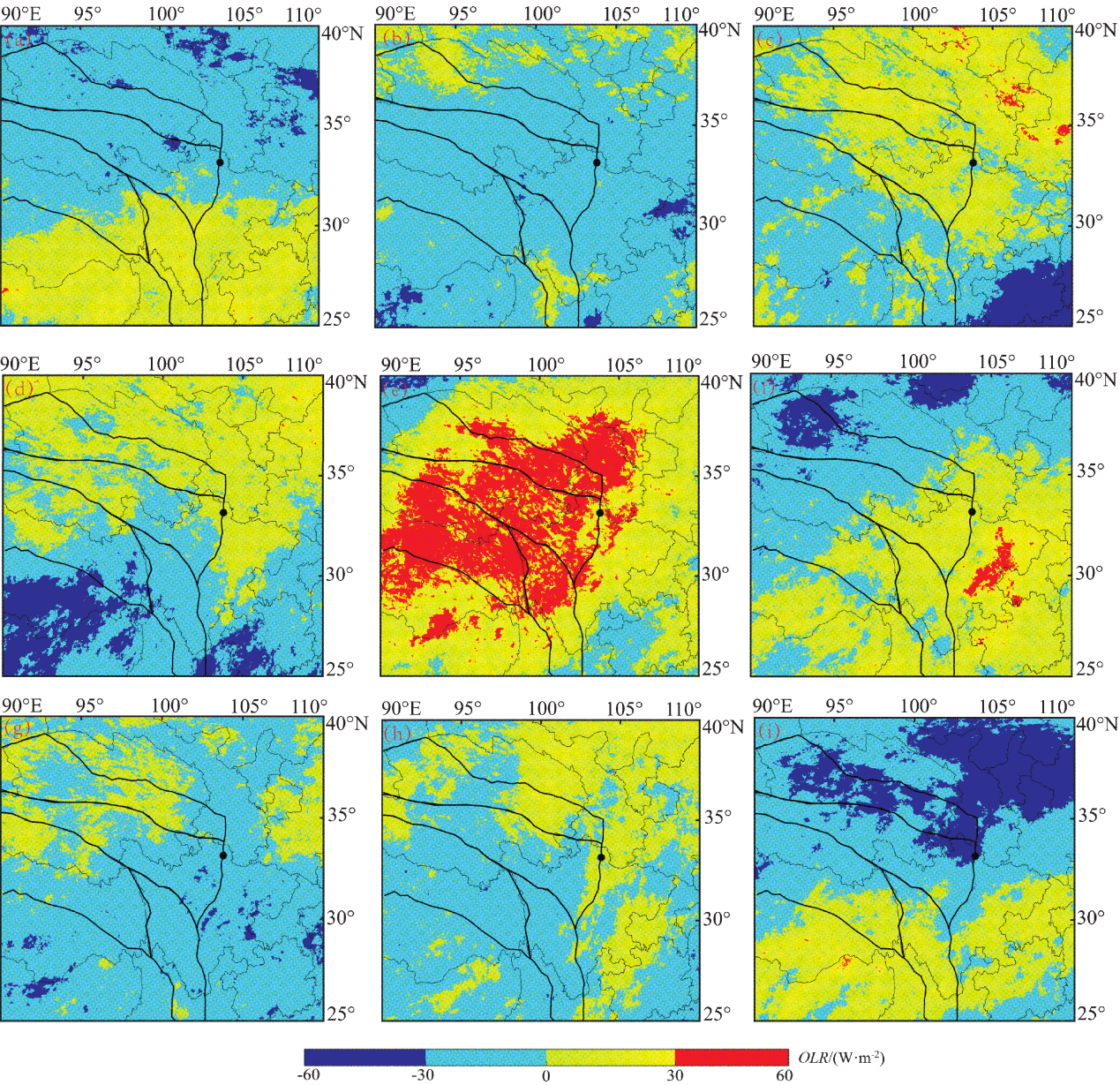


图 6 2017 年 6 月中旬—9 月上旬研究区 OLR 值距平图

Fig. 6 Anomaly of OLR from the middle ten days of June to the first ten days of September 2017

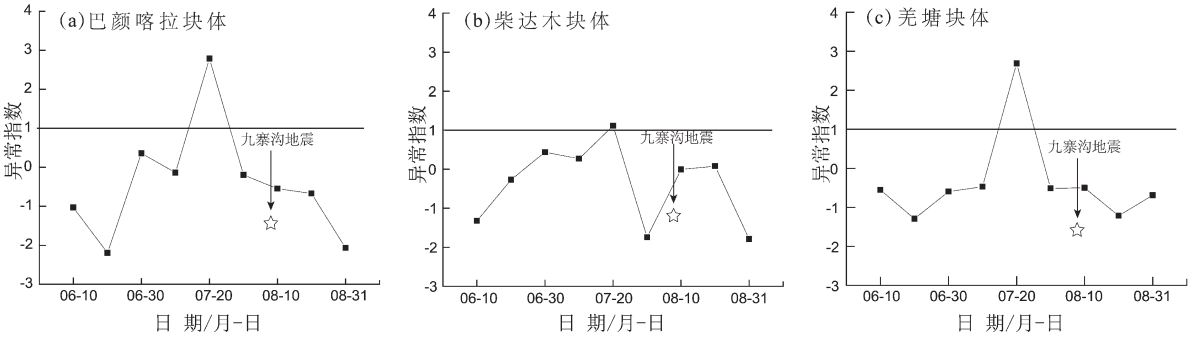


图 7 九寨沟地震前后不同块体异常指数的时间曲线

Fig. 7 Temporal curve of anomaly index of different blocks before the Jiuzhaigou earthquake

结果和结论:

(1) FY-3A 和 FY-3C 的 *OLR* 值在空间上有很高的相似性,2015 年全年 36 期 Pearson 相关系数只有一期低于 0.8,大于 0.9 的有 25 期,属于极强相关,通过计算 2 类数据 *OLR* 值的差发现,其差的值范围为 $-5 \sim 5$,差异很小;同时,二者的空间图像也具有高度的一致性。因此,可结合 2 种数据进行研究。

(2) 玉树地震前,空间上出现了 *OLR* 值大幅上升的现象。2010 年 1 月中、下旬和 3 月下旬,空间上出现了不同范围 *OLR* 值超过 20 w/m^2 的现象,相比于背景场,3 旬的增幅分别为 19.6%,3.5% 和 2.5%,辐射增强和下降现象在震前多次反复出现,或许也说明震前块体间应力存在多次加强和卸载。通过计算异常指数表明震前巴颜喀拉、柴达木、羌塘块体的 *OLR* 值均有超过多倍标准差的现象,从侧面也说明了这一结论。

(3) 九寨沟地震前,在 2017 年 7 月下旬出现了 *OLR* 值在不同块体内超过 30 w/m^2 的现象。除研究包含的 3 个次级块体外,川滇菱形块体北部也出现了这一现象,块体异常指数达到最大的时间均为 7 月下旬,巴颜喀拉块体异常指数最高,为标准差的 2.78 倍,其次是羌塘块体和柴达木块体,巴颜喀拉块体的异常指数最高,或许与其是构造上引起九寨沟地震的主要块体有关。

(4) 玉树震前,*OLR* 值距平与地震存在 2 次“上升—下降”而后地震的特点,异常指数有“下降—上升—下降—地震”的特点;九寨沟地震 *OLR* 值距平和异常指数都有“上升—下降—地震”的特点。2 次地震异常指数变化呈现出不同的变化,但震前异常指数上升而后发震这一特征是可以确定的。

参考文献:

- 戴勇,高立新,王树波,等.2014. 芦山 7.0 级地震长波辐射异常分析[J]. 地震地磁观测与研究,36(1/2):27-29.
- 戴勇,高立新,杨彦明.2016. 2015 年阿拉善左旗 5.8 级地震前长波辐射异常研究[J]. 地震,36(2):167-175.
- 戴勇,高立新,尹战军,等.2015. 莫力达瓦、嫩江交界 5.0 级地震长波辐射异常研究[J]. 华南地震,35(1):103-106.
- 丁风和,哈媛媛,于红梅,等.2006. 内蒙古东部地区 2 次 $M_s 5.9$ 地震前长波辐射特征分析[J]. 高原地震,18(1):4-9.

- 葛肖虹,王敏沛.2011. 玉树 $M_s 7.1$ 地震成因及背景的分析与思考[J]. 地质力学学报,17(1):55-63.
- 胡晓辉,盛书中,万永革,等.2019. 由余震分布确定 2017 年九寨沟 $M_s 7.0$ 地震发震断层参数[J]. 地震研究,42(3):366-371.
- 嵇少丞,王茜,孙圣思,等.2008. 亚洲大陆逃逸构造与现今中国地震活动[J]. 地质学报,82(12):1644-1667.
- 荆凤,康春丽,熊攀,等.2009. 基于涡度背景场的长波辐射地震异常提取方法[C]. 北京:中国地震学会空间对地观测专业委员会 2009 年学术研讨会论文摘要集.
- 荆凤,申旭辉,康春丽,等.2011. 长波辐射短期及临震地震信息提取方法及震例分析[C]. 北京:中国地球物理学会年会.
- 荆凤,申旭辉,康春丽,等.2012. 2010 年新西兰 $M7.1$ 地震前的长波辐射变化特征[J]. 地球科学进展,27(9):979-986.
- 康春丽,刘德富,陈艳,等.2006. 长波辐射(*OLR*)信息预测华北地震的方法研究[J]. 地震工程学报,28(1):59-63.
- 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.
- 梁阿全.2013. 浅析长波辐射数值处理方法在判断震前异常中的应用[J]. 地震研究,36(2):155-159.
- 刘德富.2000. 台湾集集强震前的卫星遥感长波辐射场变异分析[J]. 地球信息科学学报,2(1):33-36.
- 刘云华,单新建,屈春燕,等.2010. 青海玉树 $M_s 7.1$ 级地震地表形变场特征研究[J]. 中国科学:地球科学,40(10):1310-1320.
- 路茜,张铁宝,辛华,等.2014. 汶川 8.0 级和芦山 7.0 级地震前卫星热红外异常现象对比[J]. 四川地震,(2):38-42.
- 潘宇航,张璇,张元生.2017. 2016-08-24 缅甸 $M_s 6.9$ 地震热红外异常研究[J]. 大地测量与地球动力学,37(10):1092-1095.
- 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[J]. 中国地震,31(2):447-455.
- 孙珂,单新建,Dimitar O,等.2017. 基于多轨道卫星观测数据分析尼泊尔地震长波辐射特征[J]. 地球物理学报,60(9):3457-3465.
- 陶月潮,李军辉,王俊,等.2015. 华东地区中强地震前 *OLR* 涡度场异常分析[J]. 国际地震动态,(9):125-125.
- 徐锡伟,陈桂华,王启欣,等.2017. 九寨沟地震发震断层属性及青藏高原东南缘现今应变状态讨论[J]. 地球物理学报,60(10):4018-4026.
- 易桂喜,龙锋,梁明剑,等.2017. 2017 年 8 月 8 日九寨沟 $M7.0$ 地震及余震震源机制解与发震构造分析[J]. 地球物理学报,60(10):4083-4097.
- 张铁宝,路茜,高阳,等.2016. 川滇块体中强震前热红外辐射异常研究[J]. 地球学报,37(2):215-222.
- 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[J]. 地震研究,36(4):496-501.
- 张铁宝,路茜,辛华,等.2015. 汶川和芦山地震前后巴颜喀拉地块中东段红外亮温分析[J]. 中国地震,31(2):344-352.
- 张治广,张元生,王在华,等.2018. 理塘 $M_s 5.1$ 和杂多 $M_s 6.2$ 地震热红外亮温异常分析[J]. 地震,38(1):178-186.

- Chen, LiChun, Wang, *et al.* 2010. The $M_s 7.1$ Yushu earthquake surface rupture and large historical earthquakes on the Garze – Yushu Fault [J]. *Science Bulletin*, 55(31):3504 – 3509.
- Ouzounov D, Bryant N, Logan T, *et al.* 2006. Satellite thermal IR phenomena associated with some of the major earthquakes in 1999 – 2003 [J]. *Physics & Chemistry of the Earth Parts A/b/c*, 31(4):154 – 163.
- Ouzounov D, Freund F. 2004. Mid-infrared emission prior to strong earthquakes analyzed by remote sensing data[J]. *Advances in Space Research*, 33(3):268 – 273.
- Ouzounov D, Pulinet S, Romanov A, *et al.* 2011. Atmosphere – ionosphere response to the $M9$ Tohoku earthquake revealed by multi – instrument space – borne and ground observations; Preliminary results [J]. *Earthquake Science*, 24(6):557 – 564.
- Prakash R, Srivastava H N. 2015. Thermal anomalies in relation to earthquakes in India and its neighbourhood [J]. *Current Science*, 108(11):2071 – 2082.
- Tapponnier P, Xu Z, Roger F, *et al.* 2001. Oblique stepwise rise and growth of the tibet plateau[J]. *Science*, 294(5547):1671 – 1677.
- Tronin A A, Hayakawa M, Molchanov O A. 2002. Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China[J]. *Journal of Geodynamics*, 33(4):519 – 534.
- Venkatanathan N, Natyaganov V, 岩本広志. 2013. Anomalous outgoing longwave radiation observations; preliminary results of September 25, 2013 ($M7.0$) Peru earthquake[J]. グローバルテクトニクスの新概念: ニュースレター = New concepts in global tectonics; newsletter, 1(3):4 – 8.
- Zhang P Z, Shen Z, Wang M, *et al.* 2004. Continuous deformation of the Tibetan Plateau from global positioning system data[J]. *Geology*, 32(9):809 – 812.

Research of OLR's Anomaly Before the Yushu and Jiuzhaigou Earthquakes

YANG Xing¹, ZHANG Tiebao¹, CHEN Rui², LONG Feng¹, GAN Guiqin¹

(1. *Sichuan Earthquake Agency, Chengdu 610000, Sichuan, China*)

(2. *Ganzi Meteorological Office, Kangding 626000, Sichuan, China*)

Abstract

Based on the Outgoing Longwave Radiation products of FY – 3A and FY – 3C, the OLR's ambient field is constructed, and the anomaly index and departure of Qiangtang, Bayanhar and Qaidam blocks before and after Yushu $M_s 7.1$ and Jiuzhaigou $M7.0$ earthquakes are calculated to obtain the anomaly information. The results show that: ①OLR increases before Yushu and Jiuzhaigou earthquakes. ②By calculating the anomaly indexes of the blocks of Bayanhar, Qaidam and Qiangtang, it's found that before the Yushu earthquake, the maximum anomaly indexes of the blocks of Qiangtang and Bayanhar were 4.2 times and 3.5 times of the standard deviation, respectively, then the earthquake occurred after the anomaly index's decrease; before the Jiuzhaigou earthquake, the anomaly indexes of the blocks of Qiangtang, Bayan Kala and Qaidam were more than 2.6, 2.78 and 1.1 times of the standard deviation, respectively. After the anomaly index drops, the earthquake occurs. ③Before the two earthquakes, there are anomalies in anomaly index and departure. The variation of them may be related to stress's accumulation and unloading between and within blocks, which also shows that OLR has the ability to record regional anomalies before earthquakes.

Keywords: Fengyun meteorological satellite; OLR; departure; anomaly index