卫星热红外异常——四川汶川 Ms 8.0 级大地震的短临震兆

魏乐军[1,2)] 郭坚峰[3)] 蔡 慧[4)] 李海兵[5)] 强祖基[6)]

1)中国地质科学院,北京 100037; 2)海口经济职业技术学院,海南海口 570203;
3)海南省地震局,海南海口 570203; 4)海口市地震局,海南海口 570145;
5)中国地质科学院地质研究所,北京 100037; 6)中国地震局地质研究所,北京 100029

摘 要 利用我国 FY-2C 红外一波段(10.3~11.3 μm)的卫星遥感图像,通过解译和研究,发现在 5.12 汶川大地震之前,就出现了明显、孤立的卫星热红外异常现象。其异常现象的特征具体表现为:①震兆出现早:即在 2008 年 3 月 18 日(震前 55 d),就开始出现了热红外异常;②异常阶段多且复杂:汶川地震前的卫星热红外异常,可分 5 个阶段,而且热红外异常的展演各有不同。这在众多的卫星热红外地震研究案例中,可能是迄今为止异常阶段最多的一次;③单个阶段的持续时间长:最长达 13 d;④如此沿龙门山地震断裂带分布的明显的地热增温异常现象,可能在卫星热红外地震研究案例中是首次发现。这对研究发震特点、余震走向具有重要指示和启示意义。

本项研究的结果再一次证明:作为地震短临震兆,在地震(特别是≥Ms 5.0)前必然出现热红外异常现象的实践性和规律性。利用卫星热红外异常现象进行地震短临预测研究是最有效和最有可能突破地震预测科学问题的途径和方法之一。

关键词 汶川;地震;预测;地应力;卫星热红外;短临震兆
中图分类号:P315.72; P315.2 **文献标识码**:A **文章编号**:1006-3021(2008)05-583-09

Satellite Thermal Infrared Anomaly: a Short-term and Impending Earthquake Precursor before the Wenchuan Ms8.0 Earthquake in Sichuan, China

WEI Lejun[1.2)] GUO Jianfeng[3)] CAI Hui[4)] LI Haibing[5)] QIANG Zuji[6)]

1) *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037;
2) *Haikou College of Economics and Vocational Technology, Haikou, Hainan* 570203;
3) *Seismological Bureau of Hainan, Haikou, Hainan* 570203; 4) *Haikou Bureau of Earthquake, Haikou, Hainan* 570145;
5) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037;
6) *Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing* 100029

Abstract Based on an interpretation and study of the satellite remote-sensing images of FY-2C thermal infrared 1st wave band (10.3~11.3 μm) designed in China, the authors found that there existed obvious and isolated satellite thermal infrared anomalies before the 5,12 Wenchuan Ms8.0 Earthquake. These anomalies had the following characteristics: ①The precursor appeared rather early: on March 18, 2008, i.e., 55 days before the earthquake, thermal infrared anomalies began to occur; ②The anomalies experienced quite a few complex evolutionary stages: the satellite thermal infrared anomalies might be divided into five stages, whose manifestations were somewhat different from each other. The existence of so many anomaly

本文由海南省重点科技项目(编号:06701)资助。
收稿日期:2008-06-14;改回日期:2008-09-07。责任编辑:张景华。
第一作者简介:魏乐军,男,1963 年生,满族,博士后。全国地学哲学委员会常务理事,海南省地震学会副理事长,海南省地震局科学技术委员会副主任。从事青藏高原盐湖学、第四纪地质学、地震临震预测研究。通讯地址:100037,北京市百万庄大街 26 号。电话:010-68992351;E-mail:weilj@publica.bj.cninfo.net。

stages is probably observed for the first time in numerous cases of satellite thermal infrared researches on earthquakes; ③Each stage lasted quite a long time, with the longest one spanning 13 days; ④An evident geothermal anomaly gradient was distributed along the Longmen Shan seismic fracture zone, and such a phenomenon might also be discovered for the first time in satellite thermal infrared earthquake researches. This discovery is therefore of great guiding and instructive significance in the study of the earthquake occurrence itself and the trend of the post-earthquake phenomena.

The results of the authors' studies have proved once again the correctness of the regularity that, as a short-term and impending earthquake precursor, thermal infrared anomalies would surely appear before an earthquake (especially the earthquake with magnitudes ≥Ms5.0). The application of satellite thermal infrared anomaly phenomena to the short-term and impending earthquake prediction and research seems to be one of the most effective methods for a breakthrough in earthquake prediction.

Key words Wenchuan; earthquake; prediction; ground-stress; satellite thermal infrared; short-term and impending earthquake precursor

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分,四川省阿坝藏族羌族自治州汶川县境内发生 Ms7.8 级(后修订为 Ms8.0 级)强烈地震,震中位于 31.0°N,103.4°E,造成生命、财产的巨大损失。据民政部报告,截至 9 月 4 日 12 时,已造成 69226 人遇难,374643 人受伤,失踪 17923 人。汶川地震造成直接经济损失 8451 亿元。

此次地震是否存在震前征兆,已成为民众悲伤中的话题。面对地震中逝去的生命和伤痛的心灵,面对甚嚣尘上的"地震无法预测"论,笔者在撰写本文时,思绪不宁。诚然,地震是地球系统复杂变化过程中的一种突变现象,具有高度复杂性和不确定性,是世界科学难题。但是,任何自然现象在其孕育、发展与突变过程中,必然存在因果联系,是有规律可循的,这正是自然科学铁的法则。第一,从哲学上看:人类认识的发展,总是沿着"不知—知—不知"的途径而循环往复、螺旋式上升的进程。只停留在不知阶段,则认识是一片空白,是"不可知论";只停留在已知阶段,认识就不能前进,是"教条主义"。第二,从科学上看:科学的生命力在于创新,在于不断从已知到未知。如果在未知问题面前无所作为,无能为力,而没有创新,科学就会停滞不前。那么,科学发展中的创新精神究竟如何体现?

就地震而言,在一系列"不知—知—不知"的认识过程中,需要步步深入并且明确回答的基本问题有:第一,自然现象中是否存在地震前兆;第二,人类是否能够发现、甄别和判断这些地震前兆;第三,是否能够根据这些前兆进行地震预测;第四,如何发布地震预报决策信息。

中国是全球大陆地震最频繁、地震灾害最严重的国家。根据 20 世纪资料统计,历史上,我国大陆强震约占全球大陆强震的 1/3,地震死亡人数约占全球的一半。中华民族五千年历史能够生生不息、源远流长,其中就彰显了我们祖先在各种自然灾害面前祛灾避祸、顽强不屈的精神。祖先们认识自然的辩证思维方法和"天人合一"的宇宙观,不仅创造了领先世界的辉煌古代文明和古代科技,而且深深地植入在我们民族的思想基因之中,为我国包括地震预测预报在内的当代自主创新科技成果注入了活力(魏乐军等,2006a;孙文鹏等,2008)。

地震能否预报?李四光早就指出:地震是可以预报的。他认为:"地震与任何事物一样,它的发生不是偶然的,而是有一个过程","地震的发生是有前兆的"。并提出了对天文、地震、形变电阻率、地磁地电、超声波、重力、地下水、生物物理、地形变、断层微量位移、海平面的观测和仪器研制方法,其中尤其强调地应力的观测(高庆华等,2008)。他不止一次的指出,走自己的路,不要跟测地形变跑。测地形变的难度要比测地应力难度大,地应力要容易得多(李四光,1977)。

在中国科协的一次会议上,温家宝(1991)总理指出:"地质的发生发展从来是同天文学、生物学相联系的。把天体运动、地壳运动和生物运动结合起来,把宇宙作为一个体系,把运动着的天体、地球及生物作为相互联系的整体,进行多学科的研究,是当代地质学的一个重要研究方向。"温总理的这一论述,同样是攻克地震预报这一世界科学难题的攻关战略。

地震预报的终极目的在于防震减灾,在于最大限度地减少生命和财产的损失。从无防到有防,从粗放预防到精准预防,这当然有一个过程。像比赛打靶一样,起初能打 6 环,只要有减灾效果就是进步。随着研究深入和科技进步,将来地震预报像打靶一样能打 10 环,这也未尝可知。

汶川大地震是否有震前征兆?

地震发生后,本课题组迅速开展工作,对收集的 FY-2C 红外一波段(10.3 ~ 11.3 μm)的卫星遥感图像进行处理,以期查明震前是否存在卫星热红外异

常现象(魏乐军等,2008)。根据对 2008 年 2 月 22 日至 5 月 12 日遥感图像的解译和分析,发现早在 2008 年 03 月 18 日,即汶川大地震前 55 d,就开始出现了卫星热红外增温异常。到 5 月 12 日汶川地震发生时止,期间共有 5 次大规模的孤立增温异常序列,每次持续时间 2 ~ 13 d 不等,增温幅度及异常区面积亦有所不同。这个结果再一次证实了作为地震短临震兆,在地震前(特别是 ≥ Ms 5.0 级的地震),必然出现热红外异常现象的实践性和规律性。

地应力一般是指包含地热、重力、构造运动及其其他因素产生的应力。就地热场的观测而言,在李四光的那个年代是十分困难的。随着航天科技的进步,特别是空间对地观测技术的发展,利用卫星热红外辐射探测地面温度,具有资料准确、覆盖面广、信息量大、能够捕捉震前增温异常的时空动态变化等优点,在分辨率、覆盖面、动态性等方面都有了飞跃式的发展(魏乐军等,2006a, 2007a, 2007b)。现在看来走卫星热应力测量的道路是正确的。是预测地震的最有效方法之一(郭坚峰等,2006)。

最早在卫星热红外波段发现临震温度异常的是前苏联学者 Gorny 等(1988),他们在研究 1984 年中亚加兹利的一系列地震时意外发现,在震前 10 d 左右时间,震中区两条断裂带交会部位上空的热红外辐射值出现异常现象。他们认为这可能是由于断裂带上空大气气体成分的改变而引起的温室效应或气体发光造成的,但仅仅是提出猜测,而没有进一步证实或继续研究。我国科学家则很快意识到这一发现的重要性,构造地质学家强祖基等人于 1989 年开始迅速开展这方面的探索研究。他们边研究边预测,用中、英文发表了一系列的学术论文 20 余篇。从 11 a(1990 ~ 2000 年)的预测实践来看(王纯莹,2005;魏乐军等,2006b;强祖基等,2008),卫星热红外震兆具有普遍性和可操用性。

1　汶川地震前卫星遥感热红外异常现象的发生和发展序列

卫星遥感热红外异常,之所以称之为异常,是与其背景或本底值相比,所表现出来的温度异常现象。考虑到 5.12 汶川地震之前,卫星热红外异常出现前的云层干扰情况,我们选择了北京时间 2008 年 2 月 22 日凌晨 04: 00 的卫星热红外图像作为背景图(图 1),因为在凌晨 04: 00 前后,太阳辐射造成的影响最小,最能反映地热场的背景状况。从图中可以看出,孟加拉湾和泰国湾的温度最高,这是由于低

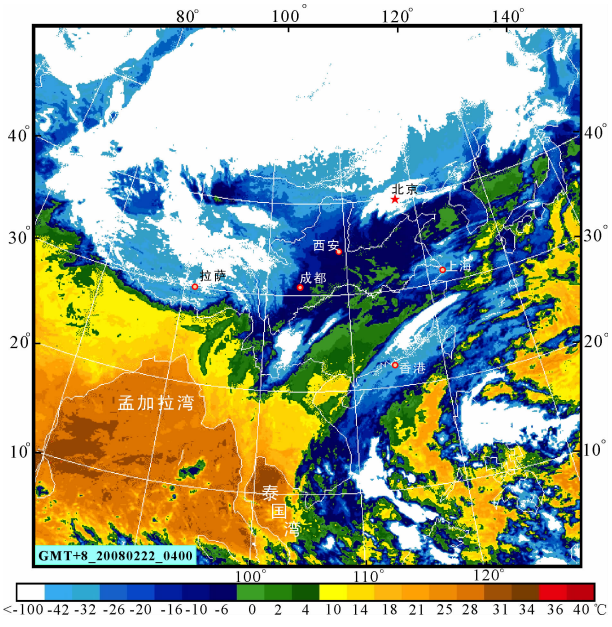


图 1　中国及周边地区的卫星遥感热红外背景图

Fig. 1　Background image of satellite thermal infrared of China and around

纬度海区的放热所至。以喜马拉雅山脉为界,南部的印度大陆温度明显高于其北部的青藏高原。在同一纬度中,太平洋海域的温度高于中国大陆的温度。

1.1　卫星热红外异常的第 1 阶段

5.12 汶川地震前的卫星遥感热红外异常,最早出现在 2008 年 03 月 18 日(图 2(a)),即汶川大地震前 55 d。到 03 月 26 日为止,持续时间为 9 d(图 2)。热红外异常区分布在华北地块(延续至部分东北地区)(图 2(b))和华南地块(图 2(c)),呈现从北逐步南下的过程。本阶段的卫星热红外异常增温幅度为 2 ~ 10℃,其中 ≥2℃增温异常区面积 140×10^4 km^2,≥10℃孤立增温异常区面积 25×10^4 km^2(图 2(c))。热异常表现出持续、缓慢、平稳的特点;热异常呈 SW 和 W 向,以沿长江流域武汉—重庆的西向为主(图 2(d), (e), (f))。

综合分析第 1 阶段的卫星热红外增温异常,认为:增温区以图 2(a)的 5 块环为起点,向 NE 向(华北)发展,之后又回到图 2(c)中以四川盆地为主的地区。特别是,图 2(a),(b)中,存在明显的增温椭圆环,即图中黄色的四川盆地、会理盆地(川)、南盘江(滇)、红水河、西江流域(桂、粤)以及赣州盆地的孤立增温椭圆环。它们联合组成了一个长轴(EW 向)直径约 1300 km、短轴(SN 向)直径 900 km,面积 117×10^4 km^2 的增温椭圆环。上涌的旋转力,带动"围岩"及上覆岩层扭转,构成扭转力偶,使水平岩

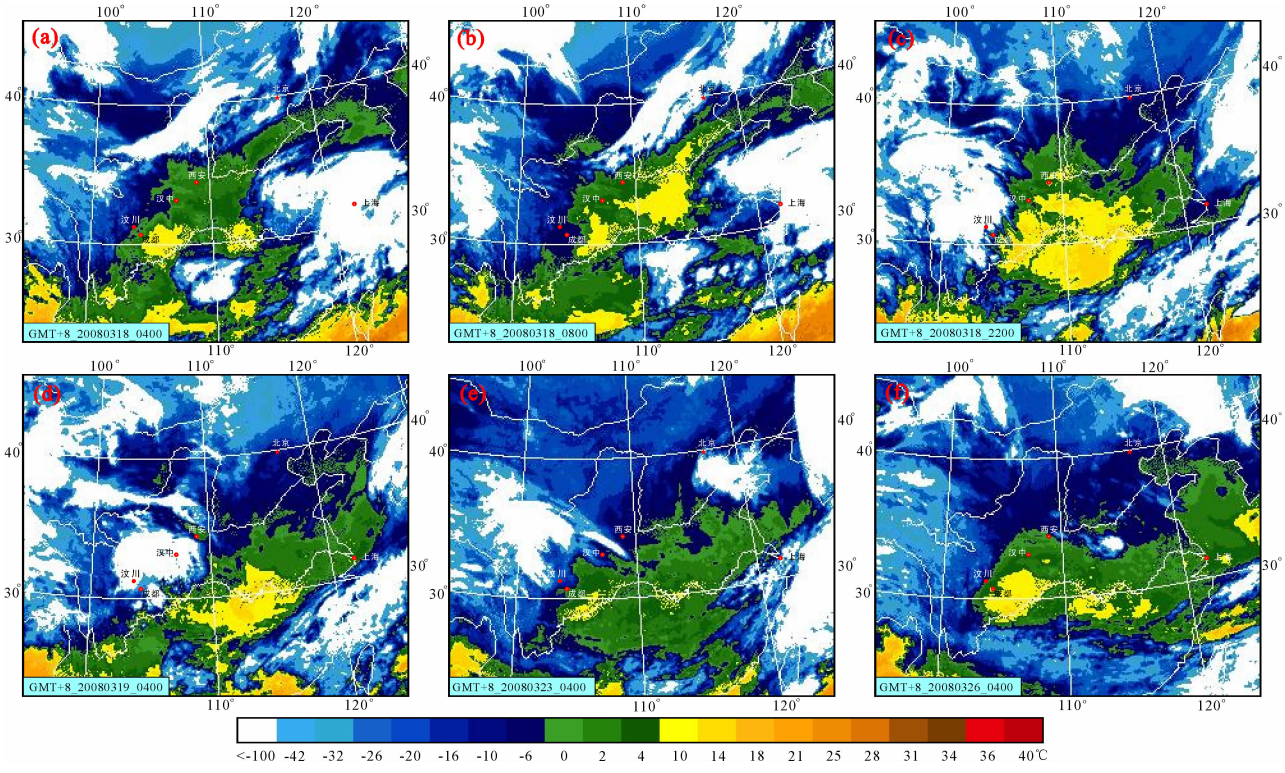


图 2 汶川地震前卫星热红外异常的第 1 阶段

Fig. 2 Period 1 of satellite thermal infrared anomaly before Wenchuan earthquake

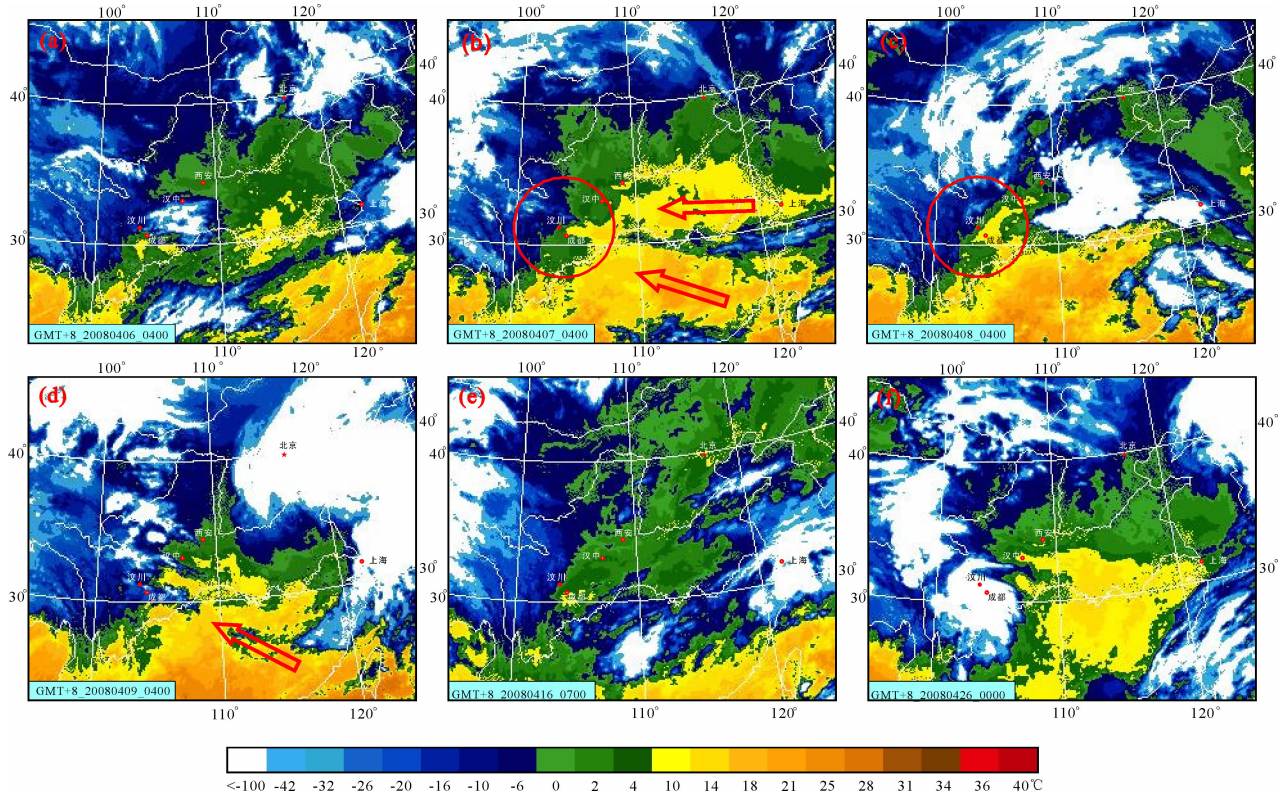


图 3 汶川地震前卫星热红外异常的第 2、3、4 阶段

Fig. 3 Period 2, 3 & 4 of satellite thermal infrared anomalies before Wenchuan earthquake

层或近水平地块产生差异旋转剪切,形成弧形雁行断裂、或环状、半环状断裂。3 月 18 日 22: 00,以四川盆地为核心的左内旋旋转运动,在此增温椭圆的西北部离震中较近处有许多 NW 向羽列,呈右行排列,其最南侧的增温条的北端为汶川地震震中。

1.2　卫星热红外异常第 2 阶段

卫星遥感热红外异常的第 2 阶段始于 2008 年 04 月 06 日,到 04 月 09 日止,持续时间为 4 d。需要特别指出的是,04 月 07 日,热红外异常区分布以长江为界,其北、南分别以 W 和 NW 向,交汇后指向震中(图 3(b))。04 月 08 日,热应力经过前期的酝酿、集中,在到达震中附近后,热异常沿龙门山断裂带方向延伸(图 3(c))。本阶段的增温幅度为 2 ~ 14℃,其中≥2℃增温异常区面积 460×10^4 km^2,≥10℃增温异常区面积 160×10^4 km^2(图 3(b))。与第 1 阶段相比,热异常表现出增温程度提高、增温区面积扩大的特点。异常区呈 W 和 NW 向(图 3(b)),以华南地块腹地的 NW 向为主(图 3(d))。

综合分析第 2 阶段的增温异常,可以看出:图 3(a),虽然震中附近被云覆盖,但是海拔在 1500 ~ 2000 m 左右的川西大雪山东延和陕甘南部秦岭西延山区都在升温(绿色),而在汶川西面金川、甘孜、炉霍仍处在零下 10 几度。汶川温度虽然没有四川盆地高(黄色)但属于增温地带。4 月 7 日 04: 00(图 3(b)),增温椭圆内旋左向北西边有两个 EW 向的分叉,南边分叉的最西端为震中。4 月 8 日 04: 00(图 3(c)),沿龙门山山前增温,示震中在其附近。4 月 9 日 04: 00(图 3(d)),NE 向的搓搓板式增温条最南那一条的西端为震中。

1.3　热红外异常第 3 阶段

热红外异常的第 3 阶段始于 2008 年 04 月 16 日,到 04 月 20 日止,持续时间为 5 d(图 3(e))。热红外异常区分布从西南端的汶川、云南金沙江、沅江及东南沿海直到 NE 向的华北中部。本阶段的增温幅度为 2 ~ 4℃,其中≥2℃增温异常区面积 150×10^4 km^2。在此期间,孤立热异常区表现出面积扩大而增温程度有所降低、方向性不明显的特点。

图 3(e)中,在汶川地区西部,有一条绿色增温带沿 NNE 向往北延展,说明川西山区及秦岭山脉的西南缘已经升温。而此时在汶川西侧,同样地势高度的温度没有升高。

1.4　异常第 4 阶段

热红外异常的第 4 阶段始于 2008 年 04 月 26 日,到 04 月 27 日止,持续时间为 2 d(图 3(f))。热红外异常区以沿长江流域武汉—重庆的正西向为主。增温幅度 2 ~ 14℃,其中≥2℃增温异常区面积 260×10^4 km^2,≥10℃孤立增温异常区面积 90×10^4 km^2。热异常表现出时间短暂、方向明确的特点。

值得一提的是,在此异常阶段,位于湖北省恩施市白果乡,蓄水量约为 8×10^4 m^3 的观音塘,在 04 月 26 日早上 7 时许,当时平静的水面突然出现漩涡,并伴有轰鸣之声,池塘水位下降,不到 5 h,直径近百米,深数十米的池塘现了底,一池碧水全部消失(周胜和等,2008)。观音塘呈圆形,平时水面与地面平齐,池水常年不干。据《白果乡志》记载,这种现象自解放以来出现过 3 次,时间分别是在 1949 年、1976 年和 1989 年。而 1949 年发生了新疆库车 7.4 级地震;1976 年唐山 7.8 级地震;1989 年理塘 5.0 级地震。

1.5　第 5 阶段

异常的第 5 阶段从 2008 年 04 月 30 日开始(图 4(a)),一直到 05 月 12 日汶川地震发生。持续时间长达 13 d。此阶段是汶川地震卫星热红外异常的重要阶段。在此期间,经过持续、平稳的应力集中,增温向震中推进,孤立地热异常区面积出现最大,于 5 月 1 日和 2 日达到鼎盛(图 4(b),(c))。并随后出现热异常减弱,进入相对平静阶段(图 4(d),(e),(f))。本阶段,卫星遥感呈现出的热红外异常增温幅度为 2 ~ 14℃,其中≥2℃增温异常区面积 314×10^4 km^2,≥10℃孤立增温异常区面积 130×10^4 km^2(图 4(b),(c))。热异常表现出集中持续出现、≥10℃的孤立增温异常明显的特点。此间,热红外异常区分布从华北地块(图 4(b))逐步南下到华南地块(图 4(c)),呈现从北到南的过程。热异常以 NWW 向为主。

1.6　震后

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分汶川地震主震发生后,地应力得以释放,卫星热红外异常迅速削减。5 月 13 日 04: 00 的卫星热红外图像(图 5),也与震前 5 个阶段发展序列的背景值(图 1)趋于一致。至于震后的地应力调整、余震发生与卫星热红外异常的耦合关系,不在本文讨论范畴。

2　汶川震前热红外异常的特征及结论

利用我国 FY-2C 红外一波段(10.3 ~ 11.3 μm)的卫星遥感图像,通过解译和研究,发现在汶川地震之前,就出现了明显、孤立的卫星热红外异常现象。其异常现象的特征具体表现为:

(1)震兆出现早:即在2008年3月18日(震前

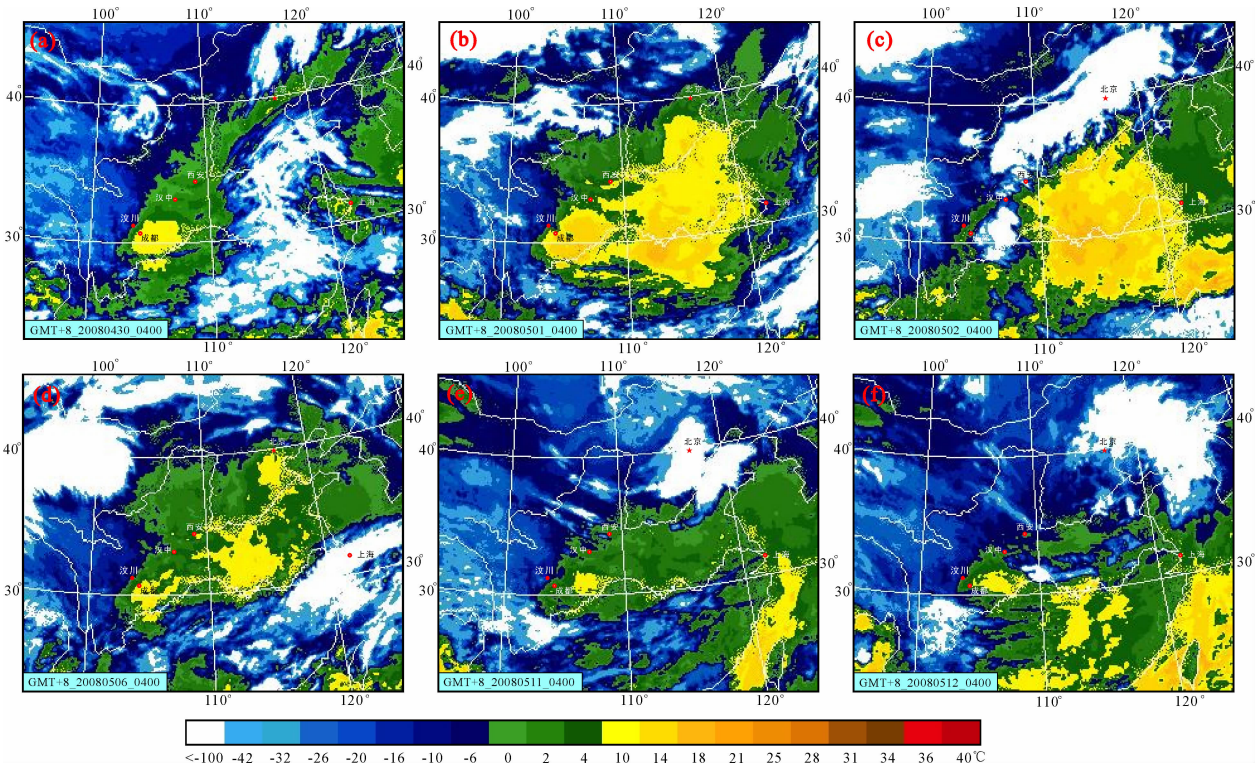


图 4 汶川地震前卫星热红外异常的第 5 阶段

Fig. 4 Period 5 of satellite thermal infrared anomaly before Wenchuan earthquake

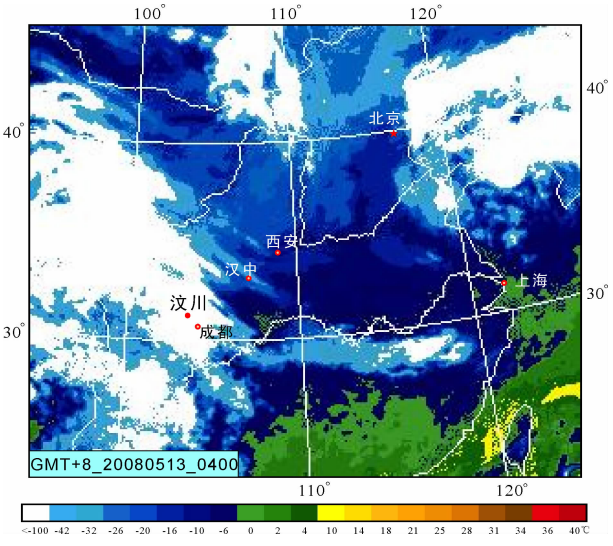


图 5 汶川地震后,5 月 13 日 04: 00 的卫星热红外图像

Fig. 5 Satellite thermal infrared image on 04: 00(GMT + 8), May 13th, after Wenchuan earthquake

55 d),就开始出现了热红外异常;

(2)异常阶段多且复杂:汶川地震前的卫星热红外异常,可分 5 个阶段(表 1),而且热红外异常的展演各有不同。这在众多的卫星热红外地震研究案例中,可能是迄今为止异常阶段最多的一次;

(3)单个阶段的持续时间长:最长达 13 d;

(4)如此沿龙门山地震断裂带分布的明显的地热增温异常现象(图 3(c)),可能在卫星热红外地震研究案例中是首次发现。这对研究发震特点、余震走向具有重要指示和启示意义。

本项研究的结果再一次证明:作为地震短临震兆,在地震前(特别是≥Ms 5.0 级的地震),必然出现热红外异常现象的实践性和规律性。利用卫星热红外异常现象进行地震短临预测研究是最有效和最有可能突破地震预测科学问题的途径和方法之一。

3 地球动力学初步分析

四川汶川 5.12 Ms 8.0 大地震震前,EW 向增温椭圆环的南侧出现近 EW 向沿乌江增温条(黄色),往东在东径 110° 处有一条 NEE 向的沿沅江的增温条(黄色),再往东南,出现了沿湘江 NE 向的增温条(黄色)(图 4(b))。这 3 条增温条带表现出的力学性质为张扭性,呈示了四川—洞庭椭圆内侧向左,外侧向右的旋扭上涌运动。图中增温大圆的面积达 314×10^4 km^2,为地球动力学提供了地幔旋扭上涌的线索。地表构造分析此次地震的地表破裂长度为 270 km,走向 NNE,为右滑逆冲断层。最大走滑—逆冲约10m,

表 1　汶川震前卫星热红外异常变化序列

Table 1　Changing series of satellite thermal infrared anomaly before Wenchuan earthquake

序 号	时 间	天数	增温幅度/℃	异常区面积 /×10⁴ km²	
				≥2℃ 区	≥10℃ 区
第 1 阶段	03 月 18 日~03 月 26 日	9	2~10	140	25
第 2 阶段	04 月 06 日~04 月 09 日	4	2~14	460	160
第 3 阶段	04 月 16 日~04 月 20 日	5	2~4	150	–
第 4 阶段	04 月 26 日~04 月 27 日	2	2~14	260	90
第 5 阶段	04 月 30 日~05 月 12 日	13	2~14	314	130

震源深度为地下 19 km(Burchfied et al., 2008)。结合震源机制解中的主压应力方向和主破裂面展布和力学性质也可决定卫星热红外图像所显示的热旋面的相对扭动方向。汶川地震震源机制解为:P 轴南东 116°,倾角 7°,破裂面走向 229°,倾角 43°,逆冲兼右旋走滑(陈运泰等,2008)。汶川椭圆外旋力向右,而内旋力向左(王绳祖,1998)。卫星热红外云图升温演化图像显示受力盘为破裂的东南盘(强祖基等,2008),与震源机制解吻合。通常解析这次地震是印度板块向北俯冲,青藏块体受推挤向东挤压(Burchfied et al.,2008;董树文等,2008),GPS 资料也支持这种看法。青藏高原向东挤出,它压到了龙门山断裂带上,但是龙门山断裂每年平均位移量只有 1.5 mm/a,并不高(沈正康,2008;陈鑫连,2008)。

这些现象只是反映表层构造变形状况。实际上,来自地下深处上地幔热物质旋扭上涌的强大力量,使得上覆岩块产生旋转力偶,导致四川盆地(块体,含龙门山断裂带东南盘)强烈向西俯冲,是地震引起了断层活动,产生了断层。这一切的一切是地震后产生的结果,研究地震的一个重要目的是怎么能预测地震,而这是问题长期困扰着地震学和地震预测学的发展(傅承义,1993)。

强调垂直运动,用沉积地层法、地貌法来研究地壳振荡运动的有黄汲清(1957)、Nikolayev(1961)、别洛乌索夫(1980)、马杏垣等(1989)、任纪舜等(2004)。地球的海陆、地槽、地台、盆地及山岭演化历史告诉我们壳内软流层和上地幔物质的水平迁移和旋涌运动的存在(王绳祖,1998;杜乐天,2000;池顺良等 2002)。刘国栋等(1984)、徐常芳等(1994,1996)指出,在河西走廊、西藏羊八井、渭河盆地华阴、唐山、山东郯城等地震区,地壳深处有低速高导层存在或上地幔拱起。刘福田等(1989)、孙若昧(1991)及梅世蓉等(1995, 1996)在地震层析结构分析方面做了大量工作,壳下 400 km 深处的速度图像表明,102.5°E 附近有约 200 km 宽的条带存在,地下 400 km 层析结构说明以 100°~105°E 为中国大陆东西部深部构造差异的分界。地质力学(Li,1929; 李四光,1966, 1973)与板块构造学强调地块的水平应力(Tapponnier et al.,1981;Zoback,1992;马宗晋等,1995;Wang et al., 2001;谢富仁等,2004;许绍燮,2006)。王绳祖(1998)运用中国长久的历史地震记录、大型盆地地球物理资料以及地震层析图像得出了中国大陆及邻区的涡旋和网络地球动力学模型,提出以四川盆地为现今地球运动的核心、地幔上涌的动力源,带动了周边次一级的涡旋构造运动。同时,日月交变潮汐应力(池顺良等,2002)与地球地幔深部流体的上涌则可能为垂直运动提供了力源。

正如池顺良等(2002)指出的那样:地球内部存在交变潮汐应力的长期作用,地球横向不均匀,交变的潮汐作用可能引起热物质的定向运动。地球自转速度变换、交变潮汐力和热物质旋扭上涌是地球动力学重要力源。卫星热红外图像技术辅以地震震源机制解和地震地表破裂带力学分析是研究现今应力场和地震短临预报的有效方法之一。

参考文献

别洛乌索夫. 1980. 大地构造基本问题[M]. 北京:科学出版社.

陈鑫连. 2008. GPS 技术与地震监测[OL]. [2008-01-09] http://www.csi.ac.cn/manage/html/4028861611c5c2ba0111c5c558b00001/_content/08_01/09/1199854795080.html.

陈运泰, 许力生, 张勇, 杜海林, 冯万鹏, 刘超, 李春来. 2008. 初步研究及考察成果(一)——2008 年 5 月 12 日汶川特大地震震源特性分析报告[R/OL]. [2008-05-27] http://www.csi.ac.cn/sichuan/chenyuntai.pdf.

池顺良, 骆鸣津. 2002. 海陆起源[M]. 北京:地震出版社.

董树文,张岳桥,龙长兴,吴珍汉,安美建,张永双,杨农,陈正乐,雷伟志,施炜,石菊松. 2008. 四川汶川 Ms8.0 地震地表破裂构造初步调查与发震背景分析. 地球学报, 29(3):392~396.

杜乐天. 2000. 地幔排气作用——建立整体地球科学的一条统纲[J] 地学前缘, 7(2):381~388.

傅承义. 1993. 中国地震预报概论(序)[M]. 北京:地震出版社.

高庆华,杜建军,周显强. 2008. 追忆李四光对防震减灾的贡献,以系统整体观指导防震应急. 地球学报, 29(3):385~391.

郭坚峰,魏乐军. 2006. 加强地震海啸预警研究,提高海南科技减灾能力[J]. 国际地震动态,(334):140.

黄汲清. 1957. 中国新构造类型[G]//第一届新构造运动座谈会记录. 北京:科学出版社, 8~44.

李四光. 1966. 旋卷和一般扭动及地质构造体系复合问题[M]. 北京:科学出版社.

李四光. 1977. 论地震[M]. 北京: 地质出版社.

李四光. 1973. 地质力学概论[M]. 北京:科学出版社.

刘福田,曲克信,吴华, 李强, 刘建华, 胡戈. 1989. 中国大陆及其邻近地区的地震层析成象[J]. 地球物理学报, 32(3):281~291.

刘国栋,史中林,王宝钧. 1984. 华北地区壳内高导层及其与地壳构造活动的关系[J]. 中国科学(B辑),(9):839~848.

马杏垣, 索书田. 1984. 论滑覆及岩石圈多层次滑脱构造[J]. 地质学报, 3:213~219.

马宗晋, 杜品仁. 1995. 现今地壳运动问题——地质力学的方法与实践, 第四篇(下)[M]. 北京:地质出版社.

梅世蓉,宋治平,薛艳丽. 1996. 中国巨大地震前地震活动环形分布图像与规律[J]. 地震学报,18(4):413~419

梅世蓉. 1995. 地震前兆场物理模式与前兆时空分布机制研究(一)坚固体孕震模式的由来与证据[J]. 地震学报,17(3):273~282.

强祖基, 姚清林, 魏乐军, 赵勇, 郭坚峰, 曾佐勋, 谢红接. 2008. 震前卫星红外热环形应力场特征[J]. 地球学报, 29(4):486~494.

任纪舜, 邓平, 肖黎薇. 2004. 与时俱进, 发展中国大地构造学[J]. 地学前缘, 11(3):1~7

沈正康. 2008. 地震为何不能预报,中国地震板块如何分布?[OL]. [2008-05-27] http://phtv.ifeng.com/program/sjdjt/200805/0527_1613_565066.shtml.

孙若昧,赵燕来,梅世蓉. 1991. 渤海及其临近地区地震层析图像[J]. 地球物理学报, 36(1): 44~54.

孙文鹏,徐道一. 2008. 论中华科学思维在未来地质学中的重要意义[J]. 地球学报, 29(1):13~17.

王纯莹. 2005. 利用时空内插及资料正规化辅助地震前热异常现象之侦测[D]. 台北:国立台湾大学.

王绳祖. 1998. 亚洲中东部地幔涡旋对流与涡旋/网络大陆动力学模型[J]. 地震地质, 20(4):379~390.

魏乐军,郭坚峰,蔡慧,强祖基. 2008. 四川汶川 Ms8.0 级大地震前的卫星热红外异常[J]. 国际地震动态(印刷中).

魏乐军,郭坚峰,卢振权,蔡慧. 2007a. 卫星遥感信息在海南及南海海域地震、海啸、火山灾害预警及油气资源调查中的应用前景[C]//高建国. 苏门答腊地震海啸影响中国华南天气的初步研究. 北京:气象出版社, 279~285.

魏乐军,郭坚峰. 2006a. 卫星遥感信息异常解译与海南地震前兆的耦合机理研究[R]. 海南省重点科技计划项目建议书.

魏乐军,卢振权,蔡慧. 2007b. 南海能源调查和短临震兆研究中卫星遥感技术的应用前景[J]. 海口经济职业技术学院学报,6(1):80~85.

魏乐军,卢振权,郭坚峰. 2006b. 短临震兆卫星遥感热红外异常的多解性研究[J]. 国际地震动态,(334):70.

温家宝. 1991. 用马克思主义哲学指导科学实践[J]. 自然辩证法研究, 7(6):3~4.

谢富仁,崔效锋,赵建涛. 2004. 中国大陆及邻区现代构造应力场分区[J]. 地球物理学报, 46(4):654~662.

徐常芳, 赵国泽, 詹燕. 1994. 壳内低阻层的形成及其与地震的关系[G]//国家地震局地质研究所编:现今地球动力学研究及其应用. 100~107.

徐常芳. 1996. 中国大陆地壳上地幔电性结构及地震分布规律(一)[J]. 地震学报, 18(2):254~261.

许绍燮. 2006. 大尺度地层内的分层运动[J]. 中国工程科学,8(6):14~22.

周胜和, 蒲元庆. 2008. 池塘内万吨碧水无故自消[OL]. [2008-05-02] http://www.enshi.cn/20071128/ca109032.htm.

References

BELOWUSOV V. 1980. The main problem of Geotectonic [M]. Beijing: Science Press (in Chinese)

BURCHFIED B C, ROYDER L H, HILST V, HAGER B H, CHEN Z, LI C, LU J, YAO H. 2008. A geological and geophysical context for the Wenchuan earthquake of 12 May 2008, Sichuan, People's Republic of China[J]. GSA Today, 18(7): 10.1130.

CHEN Xinlian. 2008. GPS technology and earthquake monitoring[OL]. [2008-01-09] http://www.csi.ac.cn/manage/html/4028861611c5c2ba0111c5c558b00001/_content/08_01/09/1199854795080.html(in Chinese).

CHEN Yuntai, XU Lisheng, ZHANG Yong, DU Hailin, FENG Wanpeng, LIU Chao, LI Chunlai. 2008. Analysis of the source parameters of the great Wenchuan earthquake of May 12, 2008[R/OL]. [2008-05-27] http://www.csi.ac.cn/sichuan/chenyuntai.pdf (in Chinese).

CHI Shunliang,LUO Mingjing. 2002. Origin of continent and ocean [M]. Beijing: Seismological Press (in Chinese with English abstract).

DONG Shuwen, ZHANG Yueqiao, LONG Changxing, WU Zhenhan, AN Meijian, ZHANG Yongshuang, Yang Nong, CHEN Zhengle, LEI Weizhi, SHI Wei, SHI Jusong. 2008. Surface Rupture Investigation of the Wenchuan Ms 8.0 Earthquake of May 12th, 2008, West Sichuan, and Analysis of its Occurrence Setting. Acta Geoscientica Sinica, 29(3):392~396(in Chinese with English abstract).

DU Letian. 2000. The outgassing of the mantle is a key link for the framework of the whole Earth science[J]. Earth Science Frontiers, 7(2):381~388(in Chinese with English abstract)

FU Chengyi. 1993. Preface of "Introduction to Earthquake Prediction in China"[M]. Beijing: Seismological Press (in Chinese with English preface).

GAO Qinghua, DU Jianjun, ZHOU Xianqiang. 2008. Retrospection of Li Siguang's Contribution on Earthquake Disaster Prevention and Reduction: Using the Systematic and Overall Concept to Guide the Earthquake Prevention Work. Acta Geoscientica Sinica, 29(3): 385~391(in Chinese with English abstract).

GORNY V I, SALMAN A G, TRONIN A A et al. 1988. The earth outgoing IR radiation as an indicator of seismic activity[J]. Proceeding of Academy of Sciences of the USSR, 30(1):67~69.

GUO Jianfeng, WEI Lejun. 2006. Strengthen the Early Warning Research of Earthquake & Tsunami, Enhance the Ability to Reduce Disaster in Scientific Way in Hainan Province[J]. Recent Developments in World Seismology, (334):140(in Chinese).

HUAN Jiqin. 1957. Several types of Neotectonic in China[G]//Minutes on First Neotectonic movement in China hold by the Chinese Academy of Sciences. Beijing: Science Press: 8~44 (in Chinese).

LI Siguang. 1929. The tectonic patterns in East Asia and their signifi-

cance to the continental movements[J]. The Geological Magazine of Britain, 66:782.

LI Siguang. 1966. On the compound problem of the revolving and rotation Shear structure and tectonic system[M]. Beijing: Science Press (in Chinese).

LI Siguang. 1973. The outline of geomechanics.[M]. Beijing: Science Press (in Chinese).

LI Siguang. 1977. On Earthquake[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

LIU Futian, QU Kexin, WU Hua, LI Qiang, LIU Jianhua, HU Ge. 1989. Seismic Tomography of the Chinese continent and adjacent region[J]. Acta Geolphysica Sinica 32(3):281 ~ 291(in Chinese with English abstract).

LIU Guodong, SHI Zhonglin, WANG Baijun. 1984. The relation of the crustal conductive layer and activity of the crustal tectonic[J]. Scienta Sinica(B):9,839 ~ 848(in Chinese)

MA Xingyuan, SUO Shutian. 1984. On Gliding Nappes and Multi-level Detachment Structures in theLithosphere[J]. Acta Geological Sinica, 3:213 ~ 219((in Chinese with English abstract).

MA Zhongjin, DU Pinren. 1995. The Problems on Recent Crust Movement: the Method and Practice of Geomechanics IV-2[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).

MEI Shirong, SONG Zhiping, XUE Yanli. 1996. Patterns and Regularity of Ring Distribution of Seismic Activity Before Great Earthquakes [J]. Acta Seismologica Sinica,18(4):413 ~ 419(in Chinese with English abstract).

MEI Shirong. 1995. On the Physical Model of Earthquake Precursor Fields and the Mechanism of Precursor's Time - Space Distribution - Origin and Evidences of the Strong Body Earthquake-Generating Model[J]. Acta Seismologica Sinica, 17(3):273 ~ 282(in Chinese with English abstract).

NIKOLAYEV N V. 1961. Neotectonic in Europe and Asia[D]. Neotectonic USSR: 317 ~ 329(in Russion).

QIANG Zuji, YAO Qinglin, WEI Lejun, ZHAO Yong, GUO Jianfeng, ZENG Zuoxun, XIE Hongjie. 2008. The Annular Stress Thermal Field of Satellite Thermal Infrared Prior-earthquakes. Acta Geoscientica Sinica, 29(4):486 ~ 494(in Chinese with English abstract).

REN Jishun, DEN Pin, XIAO Jiwei. 2004. Keeping pace with times to develop the tectonics of China and its evolution[J]. Earth Science Frontiers, 11(3):1 ~ 7(in Chinese with English abstract).

SHEN Zhengkang. 2008. Why Earthquake cannot be Predicted, How Earthquake-plates Distributed in China?[OL].[2008-05-27] http://phtv.ifeng.com/program/sjdjt/200805/0527_1613_565066.shtml (in Chinese).

SUN Ruomei, ZHAO Yanlai, MEI Shirong. 1993. Seismic Tomographic Image in Bohai Sea and It's Adjacent area [J]. Acta Geophysica Sinica, 36(1):44 ~ 54(in Chinese with English abstract).

SUN Wenpeng, XU Daoyi. 2008. On the Significance of Chinese Scientific Thinking fro Future Geology[J]. Acta Geoscientica Sinica, 29(1):13 ~ 17(in Chinese with English abstract).

TAPPONNIER P, MERCIER J L, ARMIJO R, et al. 1981. Field evidence for active normal faulting in Tibet[J]. Nature, 294(5840): 410 ~ 414.

WANG Chunyin. 2005. Appling spatio-temporal interpolation and data normalization methods in detecting pre-earthquake abnormal temperature increasing phenomenon[D]. Taibei: National Taiwan University(in Chinese with English abstract).

WANG Qi, FREYMUELLER J, ZHANG Peizhen. 2001. Present-day crustal deformation in China constrained by Global Positioning System measurements[J]. Science, 294(5542):574 ~ 577.

WANG Shengzu. 1998. The continental geodynamic model of mantle vortex convection and "Vortex/Network" in the central and eastern Asia [J]. Seismology and Geology, 20(4):379 ~ 390(in Chinese with English abstract).

WEI Lejun, GUO Jianfeng, CAI Hui, QIANG Zuji. 2008. Satellite Thermal Infrared Anomaly before the Wenchuan Ms8.0 Earthquake in Sichuan, China[J]. Recent Developments in World Seismology, (in Printing)(in Chinese).

WEI Lejun, GUO Jianfeng, LU Zhenquan, CAI Hui. 2007a. Application Perspective of Satellite-based Thermal Infrared Information on Earthquake, Tsunami, Eruption Prediction in Hainan Province & the South China Sea[C]//GAO Jianguo. A Preliminary Study on the Influence of Sumatera Seaquake upon the South China Weather. Beijing: China Meteorological Press, 279 ~ 285(in Chinese).

WEI Lejun, GUO Jianfeng. 2006a. Interpretation of Satellite-based Thermal Infrared Abnormal Phenomena and Coupling Mechanism Study of Hainan Earthquake Precursors [R]. Recommendation of Hainan Province Key Scientific and Technical Plan Project(in Chinese).

WEI Lejun, LU Zhenquan, CAI Hui. 2007b. The Application Perspective of Satellite-based Remote Sensing Technique to Energy Investigation in South China Sea & to Short-Imminent Earthquake Precursors Prediction[J]. Journal of Haikou College of Economics and Vocational Technology, 6(1):80 ~ 85(in Chinese with English abstract).

WEI Lejun, LU Zhenquan, GUO Jianfeng. 2006b. Study on Multiple Explanations for Satellite-based Thermal Infrared Abnormal Phenomena in Short-term and Impending Earthquake Prediction[J]. Recent Developments in World Seismology, (334):70 (in Chinese).

WEN Jiabao. 1991. Instructs the Science Practice with the Marxist Philosophy[J]. Studies in Dialectics of Nature, 7(6):3 ~ 4(in Chinese).

XIE FuRen, CUI Xiao Feng, ZHAO Jiantao. 2004. Regionalization of recent tectonic stress field in China and adjacent areas[J]. Acta Geophysica Sinica, 46(4):654 ~ 662(in Chinese with English abstract).

XU Changfang, ZHAO Guoze, ZHAN Yan. 1994. The origin of the crustal lower resistivity layer and relationship with earthquakes[G]// Edited by Institute of Geology, State Seismological Bureau: Research on Current earth dynamic and its application: 100 ~ 107(in Chinese with English abstract).

XU Changfang. 1996. The earthquake distribution and the resistivity structure in the Chinese mainland[J]. Acta Seismologica Sinica, 18(2):254 ~ 261(in Chinese with English abstract).

XU Shaoxie. 2006. Sub-layer Movement in the Large-scale Stratum[J]. Engineering Science, 8(6):14 ~ 22(in Chinese with English abstract).

ZHOU Shenghe, PU Yuanqing. 2008. Thousands of Pond-water Disappeared for no Reason[OL].[2008-05-02] http://www.enshi.cn/20071128/ca109032.htm (in Chinese).

ZOBACK M L. 1992. First and Second-order of stress in the lithosphere [R]: the world stress map project, Tour, Geo-phys, Res., 11703 ~ 11738.