

# 中国汶川 Ms 8.0 级地震前 NDVI 变化特征及其佐证

马保东<sup>1</sup>, 吴立新<sup>1,2</sup>, 刘善军<sup>1</sup>

1. 东北大学测绘遥感与数字矿山研究所, 沈阳 110819
2. 北京师范大学民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875

**摘要** 利用归一化植被指数(NDVI)数据,探测了汶川 Ms 8.0 级地震前植被变化情况。对震前 9 年的 NDVI 数据先做整体变化分析,没有发现明显的植被退化现象;再对时间序列数据进行逐年比对,发现两个比较明显的植被退化现象。其一,2006 年与 2005 年相比,龙门山断裂东部的四川盆地大部分地区 6—9 月 NDVI 均值明显减小,幅度为 0~20%。推测原因为震前四川盆地受挤压变形,产生热弹效应放热致使地表升温,进一步与大气耦合导致长期干旱少雨,破坏植被正常生长条件,使植被退化。因此,2006 年四川盆地大范围植被退化现象可视为震前异常。其二,2008 年 5 月上旬与 2007 年相比,龙门山断裂带上发现明显的植被退化现象,成条带状分布,NDVI 下降幅度超过 20%。这可能与临震前龙门山断裂带上发生某些物理化学变化有关,即临震前龙门山断裂带地壳岩石的破裂发育、断裂之间以及岩石之间的摩擦滑移,导致地下热物质上涌和摩擦生热释放,造成短期(近)地表高温,破坏了植被的正常生长条件,使其退化。因此,可以看作震前短期异常。此外,沿着时间尺度和空间尺度,找到一些震前中期和短期异常佐证,以增加植被异常判断的可信度。

**关键词** 汶川地震;NDVI;植被退化;异常

**中图分类号** P315.72,P237

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)13-0052-06

## NDVI Variation Features Before Wenchuan Ms 8.0 Earthquake

MA Baodong<sup>1</sup>, WU Lixin<sup>1,2</sup>, LIU Shanjun<sup>1</sup>

1. Institute for Geo-informatics & Digital Mine Research, Northeastern University, Shenyang 110819, China
2. Academy of Disaster Reduction & Emergency Management, Ministry of Civil Affairs/Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

**Abstract** By using NDVI data, the continuous change of vegetation prior to the Ms 8.0 Wenchuan earthquake is investigated in this paper. Firstly, according to a comparison year by year, it was found that, to the east of Longmenshan Fault, in Sichuan Basin, the vegetation was degraded by 0~20% from 2005 to 2006. The phenomenon was caused by drought in 2006. Spatially, the movements of Sichuan Basin plate played an important role on the Wenchuan earthquake. Therefore, according to the relationship between drought and earthquake, the degradation could be regarded as one of precursory anomalies prior to the Wenchuan Earthquake. Secondly, the vegetation in early May in Longmenshan Fault was degraded significantly from 2007 to 2008. Moreover, the same phenomenon did not happen in other adjacent faults, like Xianshuihe Fault. As is well known, prior to earthquakes, there may be changes of electric and magnetic fields, gas emissions, groundwater levels, temperature, surface deformations, and so on. These changes are all related with the vegetation degradation to some extent, and they could be seen as a short-term anomaly prior to the 2008 Wenchuan Earthquake. Furthermore, the two anomalies developed spatio-temporally from distant regions to near regions with respect to the epicenter. Additionally, some evidences were found to re-confirm the effects of vegetation anomaly. For example, the anomaly of Earth resistivity was observed 2 years before the earthquake. However, there are some limitations for detection of vegetation anomaly prior to earthquake due to other influencing factors,

收稿日期: 2010-04-24

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(50525414);《科技导报》博士生创新研究计划项目(kjdb20090102-7)

作者简介: 马保东, 博士研究生, 研究方向为环境遥感监测, 电子信箱: mabaodong\_rs@126.com; 吴立新(通信作者, 中国科协所属全国学会个人会员登记号: E381010119S), 教授, 研究方向为灾变遥感与遥感应应用、空间信息理论与算法、数字矿山与数字城市等, 电子信箱: awulixin@263.net



such as growth periodicity and topography. Further research is needed.

**Keywords** Wenchuan Earthquake; NDVI; vegetation degradation; anomalies

## 0 引言

2008年5月12日四川汶川8.0级地震的发生使灾区人民蒙受了巨大的灾难。一个8级地震释放的应变能达 $10^{16}$ J的数量级,很难置信震前不出现任何信息;而遥感技术可作为探测震前异常信息的有效手段<sup>[1-4]</sup>,多用于揭示震前热异常现象的存在<sup>[5-7]</sup>。

古文献记载了一些震前植物异常实例<sup>[8]</sup>,说明震前植被可能发生一些预示性的变化。在遥感领域中,NDVI(Normalized Difference Vegetation Index,归一化植被指数)可用于定性和定量评价植被的生长状况<sup>[9]</sup>。本文利用SPOT卫星NDVI数据研究考查了汶川地震震前植被的变化异常情况,以期对地震前兆研究提供一个新的视野。

## 1 研究区域与数据处理

### 1.1 研究区域

以汶川地震震中为中心,截取东西和南北各1000km的区域为研究区。

### 1.2 数据选择

本文所采用的数据为1999年1月至2008年5月的SPOT卫星逐旬NDVI数据。该数据由比利时佛莱芒技术研究所(Flemish Institute for Technological Research,Vito)的Vegetation影像处理中心负责预处理成空间分辨率为1km的逐日全球数据。其预处理内容包括:大气校正、辐射校正、云检测和几何校正;最后生成时间分辨率为10d的最大化合成NDVI数据;并将-1~-0.1的值设置为-0.1,再通过公式 $DN=(NDVI+0.1)/0.004$ 转换到0~250的DN值<sup>[10]</sup>。

### 1.3 数据处理

#### 1) 数据合成

采用目前国际上通用的最大化合成法MVC,对一个月每旬的NDVI数据取最大值,进一步消除云、大气、太阳高度角的干扰,获取逐月的NDVI数据。以此作为几个月(例如6—9月)内NDVI均值计算的基础。

#### 2) 变化探测

为了充分利用NDVI数据,先做整体(1999—2008年)分析,再进行个体分析。对于NDVI时间序列数据,每个像素对应若干年的时间序列数值。对这些数值进行线性拟合,所得直线的斜率揭示了在该时间序列中该像素所代表的植被指数的演化趋势。据此可显示整幅遥感影像上每个像素所代表区域的植被变化情况:斜率大于零,表明该像素代表的植被状况在向好的方面发展;反之则是植被状况变差<sup>[11]</sup>。根据斜率大小,将NDVI变化程度分为7级<sup>[10]</sup>,见表1。

另外,基于一元线性回归分析的斜率趋势方法对探测长期的变化趋势是有效的,但对震前3年左右的植被异常探测

表1 NDVI变化趋势分级标准

Table 1 Gradation for NDVI variation trend

NDVI一元线性回归曲线斜率	变化程度
<-0.0090	严重退化
-0.0090~-0.0046	中度退化
-0.0045~-0.0010	轻微退化
-0.0009~0.0009	基本不变
0.0010~0.0045	轻微改善
0.0046~0.0090	中度改善
>0.0090	明显改善

不灵敏。因此,采用逐年两两对比的方法弥补这个缺陷,即用后一年的NDVI比上一年,利用得到的比值结果判断其变化程度(表2)。

表2 逐年NDVI变化判断

Table 2 Gradation for NDVI variation year by year

比值	变化程度
<80%	严重退化
80%~90%	中度退化
90%~100%	轻微退化
100%~110%	轻微改善
110%~120%	中度改善
>120%	明显改善

## 2 结果与分析

### 2.1 2006年四川盆地植被退化

在1999—2007年6—9月均值变化趋势图中(图1),没有发现明显的植被退化现象;但是,在逐年相比的图像中发现,2006年与2005年相比(图2),明显地,龙门山断裂东部的四川盆地大部分地区NDVI减小,幅度为0~20%。

这应该是由四川盆地2006年大旱引起的。关于这场大旱,媒体和一些文献都有报道,认为与地震有关<sup>[12]</sup>。但是,干旱导致的植被退化与两年后的地震之间究竟有什么内在联系,值得认真探讨。关于汶川地震产生的原因,主流观点认为,汶川地震是印度板块向亚洲板块俯冲所致。由于印度板块由南西向东北方向俯冲挤压亚洲板块,造成青藏高原东缘以龙门山构造带为中心向东推移,却遇到四川盆地地块的强力阻挡,造成挤压构造应力不断上升,弹性能长期积累,最终在龙门山构造带中央部位发生断裂失稳,大量能量突然释放形成巨震<sup>[13]</sup>。当然,也有部分学者认为,汶川Ms8.0地震及其余震是扬子板块向西俯冲、四川盆地顺时针旋转和青藏高原隆升逆冲相互作用



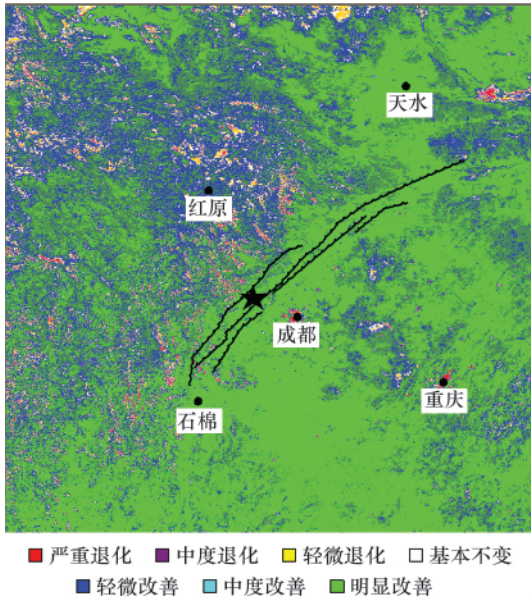


图 1 1999—2007 年 6—9 月 NDVI 均值变化趋势  
Fig. 1 NDVI mean changes from 1999 to 2007

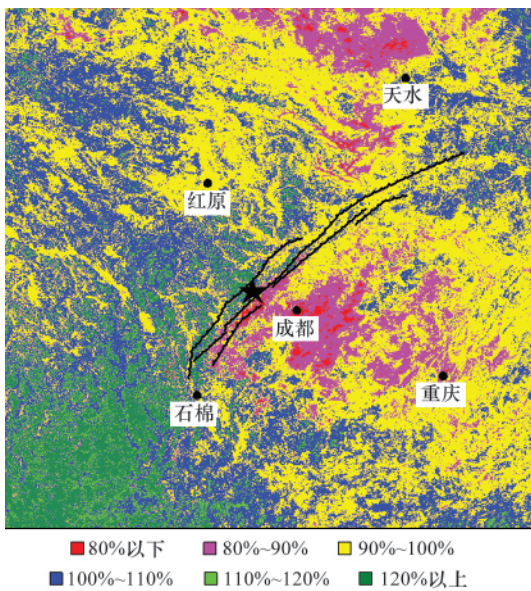


图 2 2005—2006 年 6—9 月 NDVI 均值变化  
Fig. 2 NDVI mean changes from 2005 to 2006

产生的,此次地震的主动盘不是映秀—北川主断裂的上盘而是下盘,不是上盘逆冲,而是下盘俯冲<sup>[14]</sup>。无论哪种观点,都需承认这样一个事实,即四川盆地在水平方向承受了一定的挤压力。尽管四川盆地是刚性很强的稳定块体,还是会受压缩变形,进而产生热弹效应放热致使地表升温,进一步与大气耦合导致长期干旱少雨,破坏植被正常生长条件,使植被退化。

如此看来,2006 年四川盆地大范围植被退化现象可视为震前异常。

但是,同样在图 2 中,甘肃省南部地区也出现了植被退化现象,是否也是震前异常呢?笔者认为,不属于异常。因为甘肃

发生干旱的概率较大,此次植被退化并不稀奇。甘肃深居内陆,远离海洋,地形复杂,降雨稀少,水资源匮乏,蒸发量大,全省干旱、半干旱耕地面积占总耕地面积的 76%,几乎每年都有不同程度的旱灾出现,特别是 20 世纪 90 年代以来,受全球气候变化的影响,干旱发生更加频繁,水资源短缺更趋严重,生态环境进一步恶化<sup>[15]</sup>。相反,2006 年是四川省有统计记录 51 年来水资源最枯年份,发生有气象记录以来最严重的旱灾,旱情具有时间长、范围广、强度高的特点<sup>[16]</sup>。因此,2006 年甘肃省的植被退化现象应不属震前异常。

## 2.2 2008 年 5 月上旬龙门山断裂带植被退化

同样,先做整体趋势分析,然后再逐年比较分析。仔细甄别,发现 5 月上旬的整体变化趋势图像中(图 3),红原以北 100km 处出现植被轻微退化区域。因为退化程度较轻,因此红原北植被退化作为震前植被异常的说服力不够。

在逐年比较图像中,如图 4 所示,2008 年 5 月上旬与 2007

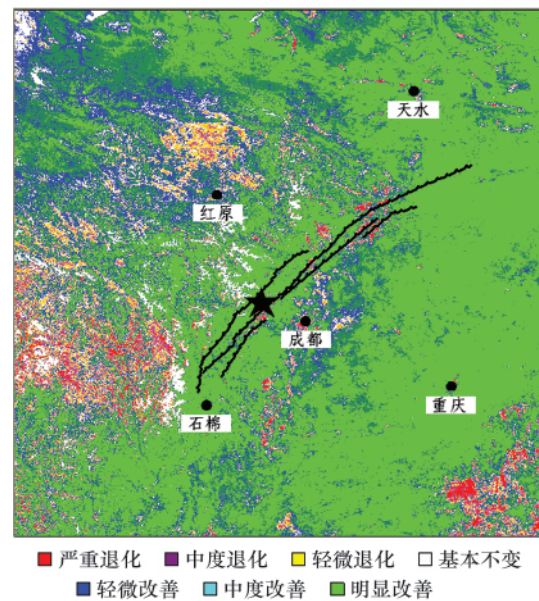


图 3 1999—2008 年 5 月上旬植被变化整体趋势  
Fig. 3 NDVI changes in early May from 1999 to 2008

年相比,龙门山断裂带上都发现明显的植被退化现象,呈条带状分布,NDVI 下降幅度超过 20%。

为了判断准确,以 2004 年 4 月上旬至 5 月上旬龙门山断裂带(植被退化段)NDVI 均值为参考值,考察 4 旬内植被环比变化情况。如图 5 所示,参考值的 NDVI 逐旬递增;但 2008 年 5 月上旬和 4 月中旬 NDVI 环比均减小,尤以 5 月上旬最为明显。因此可以判定,2008 年 5 月上旬龙门山断裂带植被发生明显退化。这可能与临震前龙门山断裂带上发生某些物理化学变化有关。即临震前,龙门山断裂带地壳岩石的破裂发育、断裂之间以及岩石之间的摩擦滑移,导致地下热物质上涌和摩擦生热释放,造成短期(近)地表高温,破坏了植被的正常生长条件,使其退化。因此,可以看作震前短期异常。

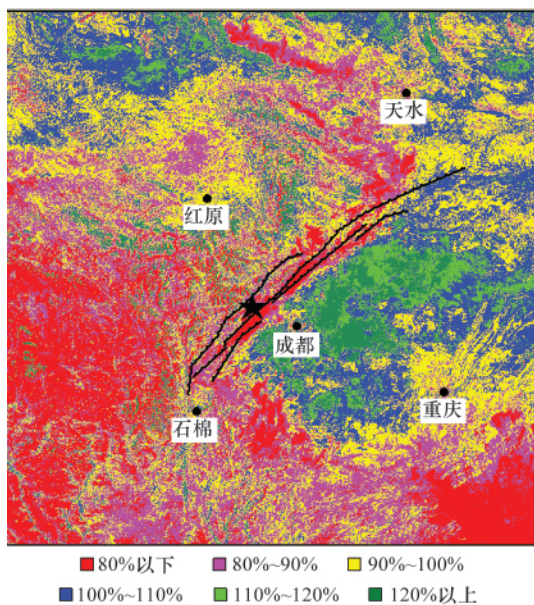


图 4 5月上旬 NDVI 变化(2007—2008年)

Fig. 4 NDVI changes in early May from 2007 to 2008

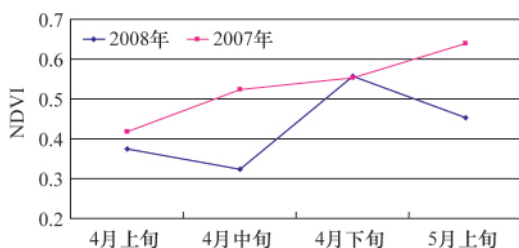


图 5 震前 4 旬 NDVI 变化

Fig. 5 NDVI changes from early April to early May

### 3 佐证

汶川地震前后大范围震源附近的观测资料是有前兆性异常变化的<sup>[17]</sup>。为了增加植被异常判定的可信度,收集了汶川地震震前的一些其他类别异常作为佐证。

#### 3.1 中期异常佐证

根据加卸载响应比(LURR)实验,汶川地震 LURR 峰值点超前地震发生 27 个月<sup>[18-19]</sup>。在流体异常方面,四川江油 10 井(位于震中东北方向约 160km 处)水位异常,月均值异常出现于 2005 年 1 月,即震前 40 个月,峰值出现在 2006 年<sup>[20-21]</sup>。分析震前的 GPS 速度场发现,2004—2007 年巴颜喀拉和华南块体的应变场相对于 1999—2004 年发生了显著变化,在四川盆地,主压与主张应变率的平均值分别增加了  $1.853 \times 10^{-9}/a$  与  $3.446 \times 10^{-9}/a$ <sup>[22]</sup>。上述多项异常指标频发于 2006 年,很可能是 2006 年区域应力达到峰值所致。

因此,2006 年四川盆地植被退化,也极有可能是区域应力峰值致使四川盆地遭受最大挤压而引发的一系列反映的结果。

#### 3.2 短期异常佐证

地震前地下某一固定的探测体积内的岩层电阻率会发生

变化,这种变化是由于岩层受迫后孔隙(孔隙度、孔隙结构、裂隙等)变形引起的。岩石在受压过程中,电阻率一般呈现负异常;电阻率下降最大的方向与压缩方向垂直<sup>[23]</sup>。四川郫县台(位于震中东南方向约 36km 处)地电阻率(NE 向)在汶川 8.0 级地震前出现了较为明显的负异常变化,持续时间约为 2 年,且异常幅度较大(图 6)<sup>[24]</sup>。由于此台站距震中较近,可以推断,随着地震的临近,NW 向应力逐渐增加,导致震中附近岩石中微裂隙呈 NE 向形成、发育、定向排列,其中可能充填了低电阻率介质水,进而引起 NE 向地电阻率大幅下降。这表明,震前短期内,龙门山断裂带可能已经活化,导致了大量裂隙的形成。

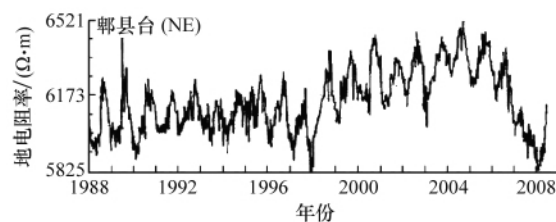


图 6 四川郫县台地电阻率随时间的变化

Fig. 6 Resistivity variation in Pixian stations

随着板块之间挤压应力不断上升,地壳岩石的破裂发育会导致地下热物质上涌,断裂之间以及岩石之间的摩擦滑移也会生热,故而引起卫星热红外图像升温异常。2008 年 4 月 23 日沿龙门山断裂带开始出现增温现象(图 7)<sup>[25]</sup>。从植物生理学角度看,短期内过高的温度会阻碍植物的生长发育,引起热害。考虑植被对高温等环境扰动反映的滞后效应,认为 2008 年 5 月上旬龙门山断裂带植被异常与热异常是在时间和空间上是相对应的<sup>[25]</sup>。

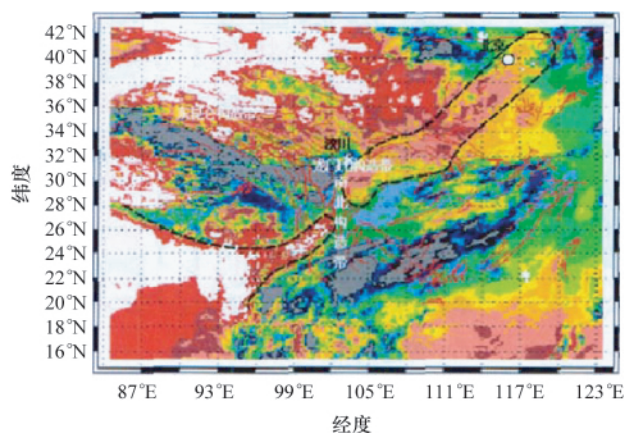


图 7 2008 年 4 月 23 日 14:30 卫星热红外图像

Fig. 7 Satellite thermal image in April 23, 2008

### 4 综合分析

从时间上看,震前 2 年(即 2006 年)出现的植被退化属

中期异常,震前1旬(即2008年5月上旬)出现的植被退化应属短期异常。空间上,产生中期异常的四川盆地范围较大,距离汶川震中较远;产生短期异常的龙门山断裂带则与震中重合。综合来看,这两类地震异常在时间和空间分布上具有一定的相关性,其发展经历了一个动态过程:无论从时间上还是从空间上看,这些异常都是由远及近,最终指向2008年5月12日的汶川(图8)。

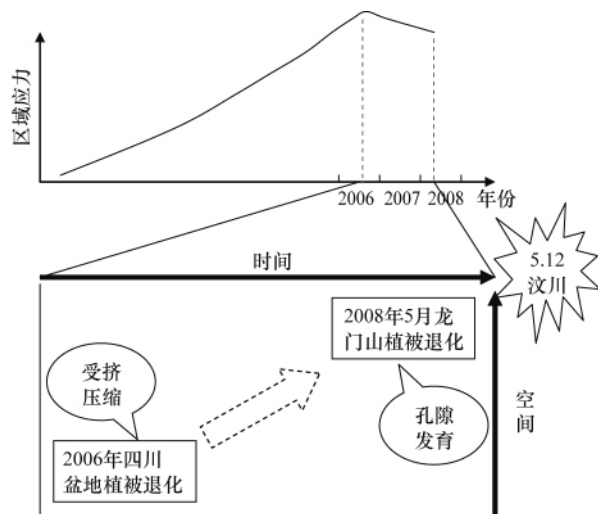


图8 两种震前植被异常时空动态发展示意图  
Fig. 8 Development of vegetation anomalies

那么,植被异常时空动态变化与孕震过程之间有什么必然联系?本文尝试做出初步分析。首先需要表明的是,对于震级如此之大( $M_s$  8.0级)地震孕震机制分析,需要大的时空观。根据前述中期异常佐证,可以判断,2006年是大量异常的突发年、峰值年。因此,大胆推测,2006年区域应力达到峰值;而后下降,在下降的过程中,发生汶川地震。这与一些岩石力学实验结果类似,即载荷先达到极大值,而后下降,在下降过程岩石发生破裂(对应地震)。对于四川盆地来说,主要受北西-南东方向的挤压应力作用,因热弹效应释放热量,透过盖层与大气耦合导致干旱少雨,因此会出现2006年盆地植被大范围退化现象。随后,区域应力调整、迁移至龙门山断裂带。临震前,断裂带的破裂发育以及岩石之间的摩擦生热,导致地下热物质上涌等短期热效应,因此会出现2008年5月上旬龙门山断裂带植被退化现象。

## 5 讨论与结论

利用NDVI数据,探测了汶川地震震前植被变化异常情况,结合其他佐证,确定2006年四川盆地植被退化和2008年5月上旬龙门山断裂带植被退化为汶川地震震前中期和短期异常。对异常产生机制进行了初步分析,认为中期异常为四川盆地受压发生热弹效应放热所致,短期异常为龙门山断裂带地下热和摩擦热上涌所致。当然,更深层次的机制分析还要借助于遥感-岩石力学(RSRM)实验的深入开展<sup>[26]</sup>。

另外,植被的生长状态易受地形地貌因素影响。例如,龙门山断裂带西部为山区,植被变化可能不灵敏,因此没有检测出西部异常。除了受地形地貌因素影响外(空间上),植被的季节物候特性也决定了其作为前兆探测因子的局限性(时间上)。

## 参考文献 (References)

- [1] Wu L, Cui C, Geng N, et al. Remote sensing rock mechanics (RSRM) and associated experimental studies [J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2000, 37(6): 879-888.
- [2] Tralli D M, Blom R G, Zlotnicki V, et al. Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2005, 59(4): 185-198.
- [3] Tronin A A. Remote sensing and earthquakes: A review [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2006, 31(4-9): 138-142.
- [4] Singh R P, Dey S, Bhoi S, et al. Anomalous increase of chlorophyll concentrations associated with earthquakes [J]. *Advances in Space Research*, 2006, 37(4): 671-680.
- [5] 刘善军, 吴立新, 李金平, 等. 台湾恒春地震前的卫星热红外异常特征及其机理[J]. 科技导报, 2007, 25(6): 32-37.  
Liu Shanjun, Wu Lixin, Li Jinping, et al. *Science & Technology Review*, 2007, 25(6): 32-37.
- [6] Saraf A K, Rawat V, Choudhury S, et al. Advances in understanding of the mechanism for generation of earthquake thermal precursors detected by satellites [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2009, 11(6): 373-379.
- [7] 秦凯, 吴立新, 马未宇. 2009年青海海西地震序列的潜热通量异常时空特征[J]. 科技导报, 2010, 28(4): 68-73.  
Qin Kai, Wu Lixin, Ma Weiyu. *Science & Technology Review*, 2010, 28(4): 68-73.
- [8] 万才淦. 中国古代一些地震前的植物异常[J]. 华南地震, 1992, 12(4): 60-63.  
Wan Caigan. *South China Journal of Seismology*, 1992, 12(4): 60-63.
- [9] 梁继运, 万力, 金晓娟, 等. 基于SPOT-VEGETATION数据的张掖盆地植被覆盖变化动态分析[J]. 科技导报, 2009, 27(12): 65-70.  
Liang Jiyun, Wan Li, Jin Xiaomei, et al. *Science & Technology Review*, 2009, 27(12): 65-70.
- [10] 宋怡, 马明国. 基于SPOT VEGETATION数据的中国西北植被覆盖变化分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 89-93.  
Song Yi, Ma Mingguo. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(1): 89-93.
- [11] 李震, 阎福礼, 范湘涛. 中国西北地区NDVI变化及其与温度和降水的关系[J]. 遥感学报, 2005, 9(3): 308-313.  
Li Zhen, Yan Fuli, Fan Xiangtao. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9(3): 308-313.
- [12] 李连芳, 杨金莲, 黄菊梅, 等. 不可忽视的汶川大地震前奇热奇旱奇涝特异背景剖析[J]. 高原地震, 2008, 20(4): 69-75.  
Li Lianfang, Yang Jinlian, Huang Jumei, et al. *Plateau Earthquake Research*, 2008, 20(4): 69-75.
- [13] 朱守彪, 张培震. 2008年汶川 $M_s$ 8.0地震发生过程的动力学机制研究[J]. 地球物理学报, 2009, 52(2): 418-427.  
Zhu Shoubiao, Zhang Peizhen. *Chinese Journal Geophysics*, 2009, 52(2): 418-427.

- [14] 刘树根, 田小彬, 李智武, 等. 龙门山中段构造特征与汶川地震[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(4): 388-397.  
Liu Shugen, Tian Xiaobin, Li Zhiwu, et al. *Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition*, 2008, 35(4): 388-397.
- [15] 2006 年甘肃省水资源公报 [R]. 2006, [http://www.gssl.gov.cn/detail.asp?page\\_id=3825](http://www.gssl.gov.cn/detail.asp?page_id=3825).  
Gansu Water Resources Bulletin [R]. 2006, [http://www.gssl.gov.cn/detail.asp?page\\_id=3825](http://www.gssl.gov.cn/detail.asp?page_id=3825).
- [16] 2006 年四川省水资源公报 [R]. 2006, <http://www.hhubbs.com/thread-105954-1-1.html>.  
Sichuan Water Resources Bulletin [R]. 2006, <http://www.hhubbs.com/thread-105954-1-1.html>.
- [17] 张肇诚, 张炜. 汶川 8.0 级地震的一些启示[J]. 地震, 2009, 29(1): 193-202.  
Zhang Zhaocheng, Zhang Wei. *Earthquake*, 2009, 29(1): 193-202.
- [18] 尹祥础, 尹灿. 非线性系统失稳的前兆与地震预报——响应比理论及其应用[J]. 中国科学 B 辑, 1991, 21(5): 512-518.  
Yin Xiangchu, Yin Can. *Science in China, Ser B*, 1991, 21(5): 512-518.
- [19] 尹祥础, 张浪平, 张永仙, 等. 汶川 8 级地震前加卸载响应比的大尺度异常[J]. 地震, 2009, 29(1): 53-59.  
Yin Xiangchu, Zhang Langping, Zhang Yongxian, et al. *Earthquake*, 2009, 29(1): 53-59.
- [20] 刘五洲. 地震地下流体前兆机理的研究综述 [J]. 国际地震动态, 1996 (12): 4-10.  
Liu Wuzhou. *Recent Developments in World Seismology*, 1996(12): 4-10.
- [21] 范雪芳, 王吉易, 陆明勇. 汶川 8.0 级地震前典型流体中期前兆异常的初步研究[J]. 地震, 2009, 29(1): 132-140.  
Fan Xuefang, Wang Jiyi, Lu Mingyong. *Earthquake*, 2009, 29(1): 132-140.
- [22] 李延兴, 张静华, 周伟, 等. 汶川 8.0 级地震孕育发生的机制与动力学问题 [J]. 地球物理学报, 2009, 52(2): 519-530.  
Li Yanxing, Zhang Jinghua, Zhou Wei, et al. *Chinese Journal Geophysics*, 2009, 52(2): 519-530.
- [23] 钱复业, 赵玉林. 地震前地电阻率的异常变化 [J]. 西北地震学报, 1982, 4(2): 31-38.  
Qian Fuye, Zhao Yulin. *Northwestern Seismological Journal*, 1982, 4(2): 31-38.
- [24] 陈章立, 李志雄. 严重的挫折重要的启示——汶川 8.0 级地震引发的对地震预测研究的某些科学思考[J]. 地震, 2009, 29(1): 182-192.  
Chen Zhangli, Li Zhixiong. *Earthquake*, 2009, 29(1): 182-192.
- [25] 吴立新, 刘善军, 陈云浩, 等. 地震前卫星热红外异常与云异常现象[J]. 科技导报, 2008, 26(10): 32-36.  
Wu Lixin, Liu Shanjun, Chen Yunhao, et al. *Science & Technology Review*, 2008, 26(10): 32-36.
- [26] 吴立新, 刘善军. GEOS 条件下固体地球灾害的广义遥感监测[J]. 科技导报, 2007, 25(6): 5-11.  
Wu Lixin, Liu Shanjun. *Science & Technology Review*, 2007, 25 (6): 5-11.

(责任编辑 朱宇)



时间: 2010年8月  
地点: 陕西·西安

# 第十一届全国物理力学学术会议

主办: 中国力学学会

会议议题

物理力学发展方向

化学激光器中的反应流气体的非平衡现象

强光与物质相互作用的非线性过程

特殊环境(微重力、高压、高超声速)条件的物性

通信地址: 湖南省长沙市国防科技大学  
光电科学与工程学院定向能技术研究所 (410073)  
网 址: <http://www.cstam.org.cn>