

# 使用 MODIS 和 MOPITT 卫星数据监测震前异常

郭广猛<sup>1</sup>, 曹云刚<sup>1</sup>, 龚建明<sup>2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

**摘要** 地震前温度异常以及 CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub> 等气体的含量增加已经被人们逐渐认识, 目前较多的研究集中在使用卫星热红外数据研究震前的温度异常, 震前 CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub> 等气体含量的增加却一直未能从卫星观测中实现。使用 MODIS 数据研究了 2002 年 1 月 15 日台湾 5 级地震前的海上温度异常, 使用 MOPITT 数据研究了 2002 年 3 月 31 日台湾 7.5 级强震前的 CO 异常以及温度异常。研究发现温度异常区和 CO 高值区吻合, 因此认为这种温度异常可能是由于地球排气作用而导致。

**关键词** MODIS, MOPITT, CO, 震前异常

中图分类号: P315.72, TP79 文献标识码: A

## 1 MODIS 和 MOPITT 传感器介绍

从 1999 年起美国国家航空航天局(NASA)开始了为期 20 年的新一代地球观测系统(EOS)计划。该计划将在近几年连续发射十几颗大型卫星和数十种仪器, 并利用这些仪器对陆地、海洋、大气进行全面的观测。地球观测系统第一系列卫星的主要科学目标包括: 大气化学、大气物理和大气循环、全球水循环及水文、海洋地理及极地研究、土地覆盖、土地利用、陆地生态系统、动态地球过程、地质及自然灾害等。作为这一系列对地观测卫星的第一颗卫星 TERRA 已于 1999 年 12 月 18 日发射成功, 第二颗星 AQUA 于 2002 年 5 月 4 日发射成功<sup>[1]</sup>。

这两颗星上都携带有中分辨率成像光谱仪(Moderate Resolution Imaging Spectrometer, MODIS)传感器, 它使用的光谱范围在可见光和红外区域(0.4 ~ 14 μm), 共 36 个波段, 分辨率为 250 m (2 个波段)、500 m (5 个波段)和 1 km (29 个波段), 扫描宽度为 2 330 km, 1 ~ 2 天可覆盖全球。Terra 卫星上还搭载有对流层污染测量仪(Measurements of Pollution in the Troposphere, MOPITT)传感器。该仪器由加拿大空间局提供, 设计用来测量全球对流层 CO

和 CH<sub>4</sub> 富集度, 水平分辨率 22 km, 扫描宽度 640 km, 垂直分辨率 3 km。仪器共有 8 个波段, 由于发射后不久出现故障, 现在只有 4 个波段能够工作, 因此不能获取有关 CH<sub>4</sub> 的信息, 但是还可以获取 CO 的信息<sup>[2, 3]</sup>。

## 2 使用 MODIS 红外波段监测震前温度异常

临震前往住出现大面积的增温异常, 利用卫星热红外技术可以确定这种温度异常的范围和幅度。据强祖基等<sup>[4]</sup>的研究, 地震前 7 ~ 9 天孕震区及其周围地区可出现几万至 100 多万平方公里、累积增温 2 ~ 10 的持续增温异常。这种异常常常沿着断裂构造带向四周成带状、片状展布, 在多组断裂构造带的交汇部位异常有显著增强。根据这种温度异常, 目前已经成功地实现了某些地震的预报<sup>[5]</sup>。预报时使用的温度是根据普朗克公式计算出的亮温。亮温虽然不是地物的真实温度, 但能反映地物热辐射能的相对强度, 同时由于其计算简单, 因此在震前温度异常研究中广为使用。

当前能够满足大范围温度监测的仪器只有极轨气象卫星和地球静止轨道气象卫星, 其中最常用的

\* 收稿日期: 2006-01-09, 修回日期: 2006-05-22.

\* 基金项目: 国家自然科学基金项目“东北地区特大森林火灾与地质构造的关系研究”(编号: 30500393)资助.

作者简介: 郭广猛(1976-), 男, 河南南阳人, 博士后, 主要从事遥感应用与环境变化研究. E-mail: guogm@igsnr.ac.cn

是美国的 NOAA /AVHRR、日本的 GMS 和我国的 FY 系列卫星 MODIS 的出现又为温度监测提供了新的数据。和 NOAA /AVHRR 相比,MODIS 数据量化精度高(12 bit),而 AVHRR 为 10 bit,从理论上来说 MODIS 能够探察更小的温度变化,同时 MODIS 定位精度比 AVHRR 有了很大提高,星下点定位最高可准确到 0.2 像素。计算时将海面看作黑体,使用普朗克公式  $L = \frac{2hc^2}{5(e^{\frac{hc}{\lambda k}} - 1)}$  计算出亮温 T,式中  $h =$

$6.626076E - 34 \text{ Js}$ ,  $c = 2.99792458E + 8 \text{ m/s}$ ,  $k = 1.380658E - 23 \text{ J/K}$ 。因为一般海面温度在 300 K 左右,根据维恩位移定律,此时辐射峰值对应的波长为  $10 \mu\text{m}$  左右,波段 31 的波长是  $11 \mu\text{m}$ ,接近于辐射峰值,因此使用 31 波段的辐射强度计算亮温,然后对不同温度赋予不同颜色以直观地显示温度分布。图 1(图版 )是 2002 年 1 月 11 日上午 10 点 42 分 MODIS 观测到的海面温度。小于 290 K 以黑色表示,290 ~291 K 为蓝色,291 ~292 K 为绿色,292 ~293 K 为红色。白色线条为中国东部海岸线。

从图 1 可以看出,图中大部分地区温度小于 290 K,海面上有 3 片海域温度明显高出周围海域。A 区位于冲绳海槽北部,异常区呈现环状构造、条带状分布,条带呈北东向,条带长轴指向台湾岛北部,异常中心温度高出周围海域 3 ~4 K。B 区位于台湾岛东岸,红色显示有明显的高温。C 区在台湾以东的大洋上,与先岛群岛的位置吻合。4 天之后,即 2002 年 1 月 15 日,台湾东北部和北部凌晨先后发生地震。0 时 34 分,在宜兰苏澳地震站东方 50.6 km 处发生里氏 5 级地震,震中深度 26.5 km。凌晨 2 时 10 分,在苗栗三义地震站东方 22.8 km 处发生 4.8 级地震,震中深度 2.5 km。这表明 MODIS 同以前使用的气象卫星数据一样,能够观测到震前的温度异常。这种异常与海底断裂活动相关,如果说是由于构造活动生热,热量从海底透过几千米的水层传到海面,这种解释过于牵强。我们倾向于认为这种异常可能是由于地下气体排出而导致的。

### 3 使用 MOPITT 数据监测震前 CO 含量异常

大量观测资料表明,临震前不仅出现热红外增温异常,同时临震前地球排气作用、气体异常释放也是一种普遍现象,它们出现的时间往往与温度异常能较好地对应,且其中的主要气体为  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$  [6]。理论推测和实验模拟认为,由于地震作用使岩层发

生了强烈的变形和破裂,因此圈闭在沉积层中的气体将沿断裂或裂隙向上逃逸进入海底或海水,直至低层大气中。随后这些气体在瞬变电场和太阳辐射的作用下激发增温,导致低空大气或海面出现增温异常[7]。早在 90 年代的“卫星热红外与海陆油气聚集关系”的研究,首次探索了卫星遥感直接寻找海上油气田的可能性。研究人员利用地、海面、低层大气同步观测发现,在天然地震激发下一些已知油气田上空会出现  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$  明显增高的现象,有时还同步出现 1 ~6 的热红外增温异常[8]。

虽然通过地面观测发现了  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$  明显增高的现象,但是由于观测只限于少量地面点上,无法了解其大范围分布状况。MOPITT 的出现为观测震前  $\text{CH}_4$  异常提供了有力的支持,遗憾的是 MOPITT 发射不久即出现故障,只能获取  $\text{CO}$  的信息。在前人的研究中, $\text{CO}$  并不认为是震前异常的主要气体成分,在卢振权等[9,10]的研究中没有提及。本文利用 NASA 提供的 MOPITT 数据,发现震前也存在着  $\text{CO}$  异常。该数据由 NASA 免费向全球发放,数据中包含有  $\text{CO}$  的柱含量、混合比以及观测点的地理位置,采用 HDF 格式存储。该格式是美国国家高级计算应用中心研制的新型数据格式,它将多种类型的数据,如图像数据、地理位置、轨道参数、仪器噪声等全部存储在一个 HDF 文件中。本文使用 NASA 提供的 MOPITT 数据处理软件包,将  $\text{CO}$  柱含量、经度、纬度数据导出为文本格式,然后使用 Super 软件做出  $\text{CO}$  柱含量等值线图,以此来分析  $\text{CO}$  的分布状况。

在 2002 年 3 月 3 日图 2A 中还看不出台湾附近地区有  $\text{CO}$  异常,3 月 27 日在台湾附近出现一个  $\text{CO}$  高值地带,位置与冲绳海槽吻合,其中黑色箭头所指的两个异常值中心分别位于台湾北部和冲绳海槽北段。3 月 30 日, $\text{CO}$  异常区域不再呈现带状,而是呈现同心圆环,异常值集中到台湾北部地区和南部地区(黑色箭头所指)。3 月 31 日 10 06 的 MODIS 图像显示在台湾东北部海面有高温区(图 3 图版),各种颜色分别代表:295 ~296 K 蓝色,296 ~297 K 绿色,297 ~298 K 黄色,298 ~299 K 橙色,大于 299 K 为红色。该高温区与  $\text{CO}$  高值区位置吻合。高温区中心温度高出 4 ~5 K。31 日下午 2 点 52 分台湾北部花莲附近发生 7.5 级强烈地震,震中在 24.27 N,122.184 E。这次强震之后,又发生 60 多次余震。车用太等[11]在 1998 年 1 月 10 日张北尚义 6.2 级地震临震前,监测到地壳不断逸出  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{Hg}$  和  $\text{He}$  等气体。这次 MOPITT 观测到的  $\text{CO}$  异

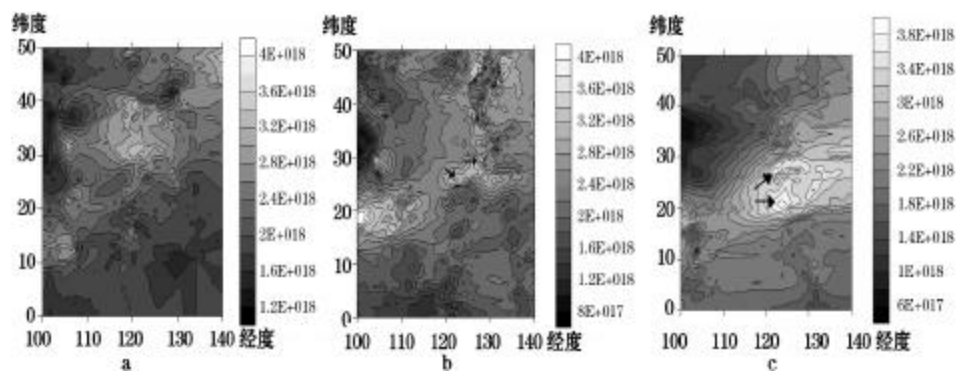


图2 2002年3月3日(a),3月27日(b),3月30日(c)台湾附近海域CO柱含量分布图(CO含量单位为 $\text{mol}/\text{cm}^2$ )

Fig.2 CO total column around Taiwan area on March 3, March 27 and March 30, 2002 (CO unit:  $\text{mol}/\text{cm}^2$ )

常可能是由于地下岩石受力产生微裂隙,地下的CO气体溢出所致。

#### 4 结语

本文使用美国TERRA卫星的MODIS和MOPITT数据,观测到了震前的海面异常升温以及震前的CO含量增加。这表明震前气体含量的异常升高,不仅有公认的 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}_2$ 等气体,CO也可以作为一种指示气体。目前Terra卫星的MODIS和MOPITT数据都由NASA免费发放。2004年7月15日Aura卫星发射成功,该卫星主要用于研究大气成分、空气质量、气候变化等,可以观测 $\text{O}_3$ 、 $\text{BrO}$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 等气体。这些数据的组合使用,预计将在地震预报、海陆油气调查中发挥重要作用。

致谢:感谢NASA Langley Research Center Atmosphere Science Data Center提供MOPITT数据!

#### 参考文献(References):

- [1] Liu Chuang, Ge Chenghui. The characteristic and application of MODIS remote sensing data in America Earth Observing System (EOS)[J]. Remote Sensing Information, 2000, 3: 45-48. [刘闯, 葛成辉. 美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据的特点与应用[J]. 遥感信息, 2000, 3: 45-48.]
- [2] Liu Chuang, Ge Chenghui. The data policy, technical standard and data localization of AQUA data in America Earth Observing System (EOS)[J]. Remote Sensing Information, 2002, 6: 38-42. [刘闯, 葛成辉. 美国地球观测系统AQUA卫星数据政策、主要技术指标与数据本土化共享问题[J]. 遥感信息, 2002, 6: 38-42.]
- [3] Yuan Benfan, Li Changjun, Ge Zhijiang. Introduction of America new generation Earth observing system-TERRA[J]. Spacecraft Engineering, 2001, 10(3): 60-66. [袁本凡, 李长军, 葛之江. 美国新一代对地观测卫星EOS-TERRA概况[J]. 航天器工程, 2001, 10(3): 60-66.]
- [4] Qiang Zuji, Xu Xiudeng, Lin Changgong. Satellite thermal infrared anomaly—Precursor of impending earthquake[J]. Chinese Science Bulletin, 1990, 35(17): 1324-1327. [强祖基, 徐秀登, 侯常恭. 卫星热红外异常——临震前兆[J]. 科学通报, 1990, 35(17): 1324-1327.]
- [5] Qiang Zuji, Lin Changgong, Li Lingzhi et al. Satellite thermal infrared brightness temperature anomaly—Short term and impending earthquake precursors[J]. Science in China(D), 1998, 28(6): 564-573. [强祖基, 侯常恭, 李玲芝, 等. 卫星热红外图像亮温异常——短临震兆[J]. 中国科学: D辑, 1998, 28(6): 564-573.]
- [6] Qiang Zuji, Kong Lingchang, Wang Yiping, et al. Earth degassing, thermal infrared anomaly and earthquake[J]. Chinese Science Bulletin, 1992, 37(24): 2259-2262. [强祖基, 孔令昌, 王戈平, 等. 地球放气、热红外异常与地震活动[J]. 科学通报, 1992, 37(24): 2259-2262.]
- [7] Xu Xiudeng, Xu Xiangmin, Ma Shengdeng, et al. A preliminary study of atmosphere temperature increase before earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 1995, 17(1): 123-127. [徐秀登, 徐向民, 马升灯, 等. 临震大气增温异常成因的初步认识[J]. 地震学报, 1995, 17(1): 123-127.]
- [8] Huang Fulin, Zhang Kunhua, Xia Xianghua, et al. Distribution of methane and its homologues in low-layer atmosphere over eastern China and seas[J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43(16): 1767-1771. [黄福林, 张训华, 夏响华, 等. 中国东部和海域低层大气甲烷及其同系物分布[J]. 科学通报, 1998, 43(16): 1767-1771.]
- [9] Lu Zhenquan, Qiang Zuji, Wu Bihao. A tentative interpretation of the formation of high temperature anomaly in satellite-based thermal infrared images of the South China Sea before earthquake[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23(1): 42-46. [卢振权, 强祖基, 吴必豪. 南海临震前卫星热红外增温异常原因初探[J]. 地球学报, 2002, 23(1): 42-46.]
- [10] Lu Zhenquan, Wu Bihao, Qiang Zuji, et al. Brightness temperature

ture anomalies in satellite-based thermal infrared remote sensing along the offshore China seas [J]. *Geoscience*, 2005, 19(1): 74-

82. [卢振权, 吴必豪, 强相基, 等. 中国近海海域卫星热红外亮温增温 [J]. *现代地质*, 2005, 19(1): 74-82.]

[11] Che Yongtai, Yu Jinzi, Liu Wuzhou. Dynamic monitoring of de-

gassing of the crust and prediction of the Zhangbei-Shangyi earthquake of magnitude 6.2 [J]. *Geological Review*, 1999, 45(1):

59-65. [车用太, 于金子, 刘五洲. 地壳放气动态监测与张北—尚义 Ms 6.2 级地震预报 [J]. *地质论评*, 1999, 45(1):

59-65.]

## Monitoring Anomaly before Earthquake with MODIS and MOPITT Data

GUO Guang-meng<sup>1</sup>, CAO Yun-gang<sup>1</sup>, GONG Jian-ming<sup>2</sup>

(Institute of Geographical Science and Natural Resources, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China;

2. Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** Temperature anomaly and gas anomaly such as methane and carbon dioxide before earthquake have been recognized for years. Many researchers have studied temperature anomalies with satellite thermal infrared data, while the gas anomaly has only been derived from limited ground measurements, and it is still not applicable in large areas. Here MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer) thermal infrared data is used to study the temperature increase before the Ms 5.0 Taiwan earthquake on January 15, 2002, and MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere) data is used to study the CO total column concentration before the Ms 7.5 Taiwan earthquake on March 31, 2002. It is found that there existed both high temperature area and high CO total column area near the Ms 7.5 earthquake epicenter and these two areas located at the same place. It is considered that this CO increase was caused by earth degassing. When these gases emit to atmosphere, they will also lead to temperature increase under the atmosphere electromagnetic field.

**Key words:** MODIS; MOPITT; CO; Anomaly before earthquake.