

气象卫星接收处理系统用于地震 短临预测的开发研究

徐秀登, 徐保华

(浙江师范大学卫星遥感研究中心, 浙江 金华 321004)

摘要:介绍了在利用气象卫星热红外异常作地震短临预测的探索中,如何开发已有的气象卫星资料分析处理系统来捕捉、确定和提取地震前兆异常,分析震兆异常时空演变规律,计算地震“三要素”指标,建立地震预测思路。

关键词:地震预测;气象卫星;处理系统;增温异常

中图分类号:P315.7;P414.4 文献标识码:A 文章编号:1000-0844(2004)04-0322-06

0 引言

利用卫星热红外异常图象进行地震短临预测的开发研究,是由本文第一作者在内的我国科技工作者首先开始的^[1-3]。该方法原理是:利用地震短临阶段孕震区内普遍出现的大气—地面增温异常引起的卫星热红外辐射异常现象及其时空演变规律与发震“三要素”(发震时间、震中位置和震级大小)的关系,进行地震监测预报的探索^[4-5]。而具有客观性、宏观性和准实时性的气象卫星成为首选的卫星。因日本GMS和美国的GOES静止卫星和NOAA系列极轨卫星都能对大气、海洋、陆地在内的下垫面特征进行全面探测,因此美国把NOAA、GOES等卫星统称环境卫星。但以前国内外对它们的使用仅局限于气象变化监测,未开发应用于地震活动探测。因此,如何将原用于气象监测为主的气象卫星资料及其接收处理系统用于地震活动的监视预测,正是卫星地震预测开发研究者面对的主题。本文介绍了如何将用于气象预报的CMAPPS(中国气象局微机处理系统)用于地震预测研究,阐述了卫星预测地震流程,总结了该研究取得的初步成果。

1 基于CMAPPS的地震预测分析系统

中国卫星气象中心拥有不同系列的卫星资料和处理系统,对象复杂而广泛,功能齐全而强大。但它主要是为气象监测服务的,用于地震监测还必须进行改进。具体包括:去掉与地震监测无关的内容和功能;把某些功能移植后加以适当改进,从监测气象要素变为监测地震要素(如将云团面积计算用于增温异常区面积计算;台风中心及其迁移路径用于异常区中心确定及其迁移路径追踪);针对地震研究需要,建一些资料库和知识库,增强图象叠加功能(如将卫星云图和地面温度距平图与地震断裂带叠加等)。最后形成一个基于CMAPPS平台的用于地震异常监测、地震三要素分析和预测的“气象卫星地震预测分析系统”框架。该系统由三部分构成:

(1)历史背景资料库:包括地形图、地震震中与地震构造带分布图、四季地面温度分布图、地面温度30年旬均值图。

(2)知识库:综合“专家”经验和研究成果以及我国1988年来的地震三要素量化统计分析结果,建成“知识库”,作为预测决策参考依据。包括异常识别判据(定性与定量的)和异常特征与地震三要素关系表。

(3) 气象卫星图象资料分析处理子系统:主要围绕着为卫星红外异常预测地震的基本思路服务的晴空高温区的增强显示、震兆红外异常的判定和提取、异常时空变化动态的追踪、异常时空特征与地震三要素量化关系的计算分析等,在原 CMAPPs 气象分析系统基础上加以改进和新增。包括图像增强变换,色标调制变换,图像通道运算,异常面积计算,多类型图解叠加和自选通道或次时的图像分裂窗对比。

2 气象卫星预测地震业务化程序初探

2.1 云图资料的选用

目前我国在地震预测中利用的气象卫星资料主要有两大类——静止卫星资料和极轨卫星资料,两者各有特色(表1)^[6],在地震预测中需灵活选用。

表1 各类卫星主要特征对比

卫星类型	拥有国	运行时间	空间位置	分辨率			量化等级	主要探测功能
				时间	空间	光谱		
静止	GMS 系列 FY-2 系列	日本	1984-2003 1997-	140°E 105°E	1次 /时	5 km	可见光	白天云图
							水汽	昼夜水汽
							红外 2~3	昼夜云图、下垫面温度
极轨	NOAA 系列	美国	1970-	轨道平 面与赤 道平面	2次 /天	1.1 km	可见光	白天云图
							近红外	冰雪、植被
							红外 3	下垫面温度
	NOAA/15						微波 20	10 bit 大气温度垂直分布
							可见光 4	~ 白天云图、海洋水色
	FY-1 系列	中国	1988, 1990 1999-	98°~ 99°夹角			近红外 3	13 bit 区分冰雪云、土壤湿度
							中红外 3	林火
							热红外	下垫面温度

由表1知:空间分辨率极轨卫星高(星下点 1.1 km),静止卫星低(5 km),两者线之比约 5:1,面积之比约 25:1;反映探测精度的信息量化等级极轨卫星为 10 bit,静止卫星红外波段为 8 bit,但时间分辨率静止卫星远比极轨卫星高,前者每小时一次,而后者则每昼夜各一次。因此,我们以捕捉瞬息多变的红外异常为目的的日常观测主要用静止卫星,因为有一些增温异常并非持续性增温,而是间隙性、波浪式增温,甚至是稍纵即逝的。如 2003 年 9 月 26 日日本北海道东南海域 8.0 级地震,增温异常出现时间只有 23、24 日二天中二个时次,故只用一天二张的极轨卫星是很难发现的。但确定有异常后,进入异常时空动态规律及其与三要素关系量化分析时,则要靠极轨卫星了。比如 1989 年 10 月 18 日大同 6.1 级地震前,日本 GMS-5 静止卫星 10 月 16 日 18 时的云图只能感到华北有异常现象,美国极轨卫星 NOAA 资料则尚可清晰地反映其沿张家口——蓬莱地震构造带向 NW 向伸展和沿桑干河断裂向 SW 向延伸等异常变化;从 15 日—19 日同时次卫星云图对比,则可清晰地反映异常从初始增温→加强增温→平静的动态演变^[1]。日本 GMS 卫星位置在日本东京上空 140°E,对我国西部斜视很厉害,故空间分辨率大为降低,而 FY-2 卫星在我国中部 105°E 上空,故对我国的空间分辨率比 GMS 要高。因此 1997 年后主要用 FY-2 卫星资料。

通道选择上,对所有卫星皆主用能反映下垫面温度的热红外通道,但有时配合水汽和可见光通道作对比。

值得注意的是美国 1999 年新发射的 Terra 极轨卫星上的中分辨率成像光谱仪 MODIS 有 6 个热红外通道,信息量化等级(12 bit)比 NOAA 高 4 倍,比 GMS 要高 16 倍。因此,很有必要开展对 MODIS 各红外通道对地震事件反映灵敏度的对比研究,以寻求对震兆异常反映更有效的通道。

2.2 精选色标 突出高温区

我们是用气象卫星的红外通道图像来作地震监测的,气象卫星红外图像反映下垫面,包括陆表、海面和云顶的热红外辐射强度,并用灰度值的大小来反映各像元点的亮温高低。因此,实质上是一张下垫面的亮温分布图。晴空区的卫星亮温图是地面温度的准客观记录^[4],因此我们的研究对象是晴空区和高温

区。而气象卫星云图分析系统侧重于研究云雨区和低温区,这就需要对使用的气象卫星云图资料分析系统要作一番“为我所用”的改进和制作,首要的是色标的重新设置。

方法是精选一个适当亮温值为分割点,将图像分为单色区和彩色区。云雨区等低温区用单色(全白或灰)显示,晴空区等高温区用彩色显示。前者作为背景区,后者作为目标区重点研究。彩色区再细分为6个色系。按亮温低→高分别赋以靛、青、绿、黄、红、紫等6种颜色,每种颜色再进一步按深→浅细分为5个小段,每一小段表示 1°K 的温度差,基本可涵盖高温区的最低→最高的变化值。为防不足,对两头的高、低温区用浅→深的渐变色表示,从而可进一步反映出云的厚度大小和高温区的微细变化。

显然因地区和季节的不同,晴空区的亮温值高低也不同,所以,作为低温背景区和中高温目标区的分界点亮温值要因时因地而异。我们在1989年来大量震例云图资料分析统计基础上,按南、北方和春秋、冬、夏分别设置了不同分界点的色标,同一色标还可利用已有的“调色”功能左右移动,来选择理想区间。

2.3 两图相减,寻求增温区

高温区不等于增温区。为了寻求增温区,我们将经肉眼判识有增温的异常图与不同时期同时次无增温的正常图叠加,亮温值相减形成 ΔT 即增温分布图(见图1),它去掉了地形地貌等的背景温度场,只保留温差。再把此亮温增温分布图与同一时间的实测地面温度距平图叠加,找出两图增温重叠区,更进一步缩小了目标范围。

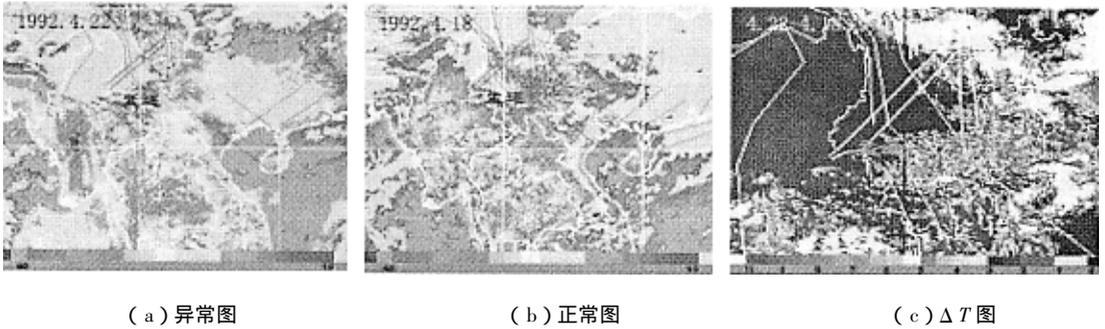


图1 由增温异常图与正常图得到 ΔT 图

Fig.1 ΔT picture from ground temperature anomaly and normal pictures.

2.4 多类型图象叠加确定震兆异常区

地面温度与卫星红外共同增温区也不一定是与构造地震活动有关的震兆增温异常区,因为 ΔT 图虽削减了与地形地貌等静态因素有关的非震增温,还有动态的气象因素造成的增温。如何识别和排除非震增温因素是一项非常复杂和困难的工作。但其中有一条判据很重要,即看此共同增温区是否与地震断裂带有关联,因为构造地震多是地震断裂带急剧活动的产物。因此可把地震断裂带与震中分布图用气象已有的定位子系统“画地图”功能叠加到 ΔT 图上,寻找增温区与地震构造带的一致性关系,及其随着时间的推移从分散到集中,从弱到强,再到弱的演变规律^[5],最后确定哪是真正震兆性的增温异常。如图2,姚安地震前川、滇、桂卫星红外异常区(深色区)与地面温度距平高值区基本重合且其展布与两条NW向地震构造带(浅色直线)方向一致,故确定为震兆异常。震中位置的预测用空间分辨率较高的NOAA卫星资料,据震中多位于异常区和活动断裂前缘与其它方向断裂交汇处等规律,加以具体确定。笔者就是根据这组卫星图片和上述思路,对2000年1月15日姚安地震三要素作出较好的预测的。

2.5 确定未来地震三要素预测指标

确定了红外图象中震兆异常区后,就进入分析异常区时空动态规律,计算其与地震三要素的量化关系,以实现预测未来地震的最终目的。

(1) 用气象处理系统中的“动画子系统”和“分裂窗”功能,显示不同日期同一时次孕震区相对稳定气象背景时段亮温图象,研究其时空动态规律。如1996年2月3日丽江7.0级地震,同一时次(世界时5h)

系列亮温图对比(图3)清晰地反映出从基本正常(1995年12月20日05时为例)→初始增温(1996年1月26日05时为例)→加强增温(1996年1月27至30日,亮温高值区沿NNE向应变带直达未来震中区丽江)→衰减(1996年1月31日至2月3日)→发震(1996年2月3日11时)→震后恢复平静(1996年2月4日05时为例)的演变过程。

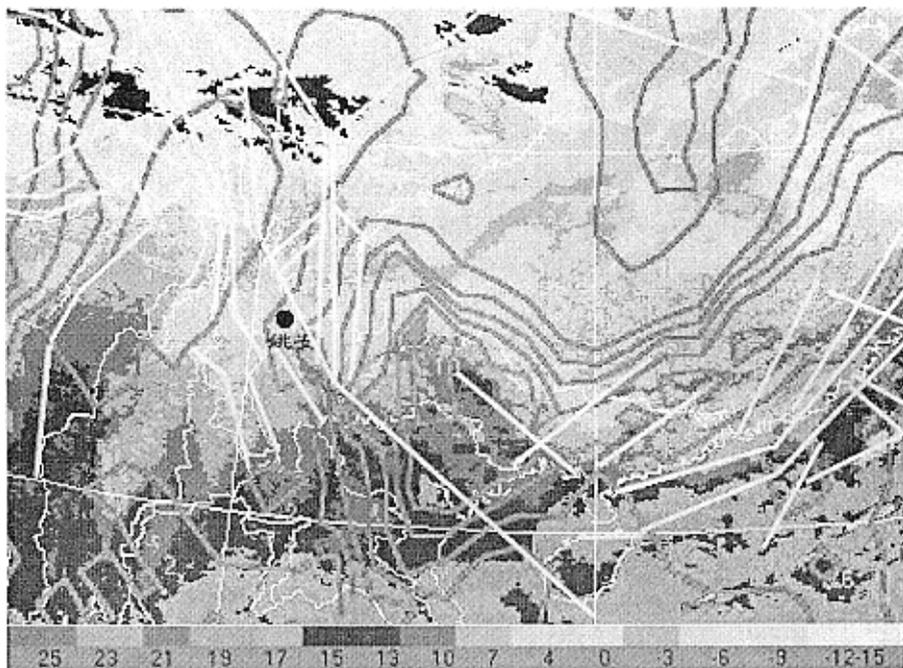


图2 2000年1月11日川滇地区地面温度距平图、卫星红外图像和活动断裂带叠加

Fig. 2 Piling up the ground temperature figure of apart from average value, satellite infrared figure and the active fault belts.

(2) 用气象系统中“云团面积计算”功能计算震兆增温异常区面积大小(由于晴空区亮温是地面温度的准客观映照,故两者面积大小相近,只是温度值前者略低于后者,但不影响面积与震级大小的统计关系)。

(3) 用“定位子系统”的“定位台风中心”和“显示台风路径”功能来确定震兆异常区中心及其迁移轨迹。

(4) 用“应用子系统”中“云图上求距离”功能量测震兆异常区移动距离,计算其移动速度。

最后,将上述分析计算的结果与存储于知识库中相关指标对照作参考,预测未来地震时(发震时间)、空(震中位置)、强(震级大小)三要素。

3 气象卫星预测地震的初步研究成果

作者在完成浙江省科技计划项目(批准号966688)期间,把自1988年有GMS卫星资料以来到2000年1月发生在我国华北、云南地区的 $M_s \geq 6$,东南沿海 $M_s \geq 5$ 的全部地震和部分台湾地震(共66次)的3700多张卫星云图作了一次扫描式的普查,编制成卫星红外图象遥感情况一览表。将地震前增温异常标志和时空动态规律按遥感明显程度分作反映明显、较明显、不明显三类。

统计结果表明,明显反映者占66.8%,不太明显者31.7%,无反映者64次地震中只有1次,占1.5%。由此可令人信服地说明利用卫星红外异常图象预测地震是一种可行的、有发展前途的新方法。

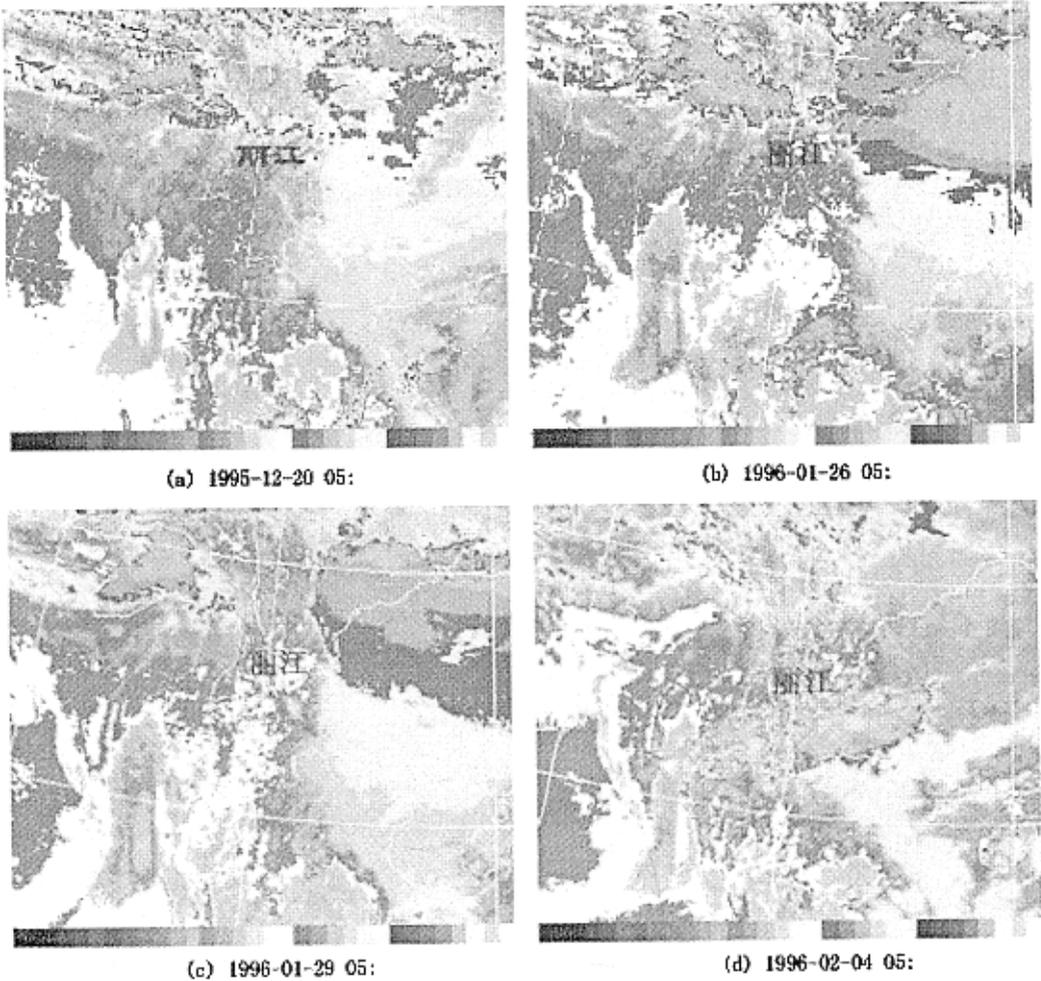


图3 丽江地震前后增温异常进程

Fig. 3 The progress of ground temperature anomaly before and after Lijiang $M7.0$ earthquake.

对反映明显的41次历史地震的时、空、强三要素与卫星红外异常的特征关系(包括起始时间、高峰时间、平静时间、异常面积、与背景温差、震中位置与异常关系、地震带与迁移过程等)一一列表进行统计分析,以寻求异常特征与地震三要素的定性—半定量关系。初步得出红外短临异常基本特征和地震“三要素”的量化统计关系(表2),可作为我国东部破坏性地震短临预测参考指标:

表2 中国东部破坏性地震红外异常时空特征统计表

红外异常	总范围	$M_S5 \sim 5.9$	$M_S6 \sim 6.9$	$M_S7 \sim 7.9$
起始时间(震前天数/d)	2~22	3~22	2~16	8~18
高峰时间(震前天数/d)	1~13	1~13	1~9	1~12
平静时间(震前天数/d)	0.5~7	0.5~2	0.5~7	0.5~4
面积/ km^2	10~110	10~69	15~100	25~110
温差/ $^{\circ}\text{C}$	2~9	2~7	3~8	6~9

(1) 发震时间与异常起始时间、高峰时间和平静时间具一定正相关。

(2) 发震地点与异常位置的关系 ①多具边缘性 40多次地震,震中位置30多次落于弱异常区、异常区边缘(因地震多发生于活动断裂带端点,详解见参考文献[2])。②多位于不同方向断层带交汇处。

(3) 发震强度(震级)与异常面积有一定的关系但非正相关。因地震是地应力强度突破岩块抗裂强度的产物。因此,决定震级大小的因素应包括岩块特点(内因)和地应力强度(外因)(即异常面积和强度)两个方面。即孕震区的岩石刚塑性、岩块完整性和活动块体大小等。

作者用该卫星预测地震思路和初步分析系统预报过 1999 年 9 月 21 日台湾南投 7.6 级大震^[7]及 10 月份几次中强余震,震前较准确地预测过 2001 年 1 月 15 日姚安 6.5 级、遥感到 2001 年 1 月 20 日印度古吉拉特邦 7.8 级地震等^[8]。

4 讨论和展望

将已有的具宏观性、客观性、准实时性和高信息性的气象卫星系列遥感资料用于地震短临预报的应用性开发研究,是我国科技工作者首先开始的,至今我国仍处于领先地位。气象预报与地震预报同属环境监测预报领域,在预报思路和资料分析处理方法上有许多可互相借鉴和相通之处。10 多年来,试用气象卫星接收处理系统作地震预报的实践效果证明,这条路子是可行的。但必须根据地震预测的目的要求作适当的修改、补充,作灵活处理。本文作者在这方面已作了一定的努力并取得一定的实效。但要将有系统作为地震监视和预测正式手段,还需通过大量震例总结和自有卫星云图资料以来的长期资料分析,在排除气象动态因素的干扰上再下工夫。在作者的开发研究过程中,深感长期连续的历史卫星资料的获取和实时资料的保障是实行这一目标的前提,地震和气象部门技术力量的跨领域合作和融合是重要条件。

致谢:感谢中国气象局卫星气象中心 CMAPPS 开发组多年来的支持和帮助;中国气象局卫星气象中心范天锡、董超华研究员对本方向研究,一直给予热情支持和指导,对本文也提出了宝贵修改建议和帮助,在此深表感谢!

[参考文献]

- [1] 强祖基,徐秀登,质赏恭.热红外异常——临震前兆[J].科学通报,1990,35(17):1324-1327.
- [2] 徐秀登,强祖基,质赏恭.临震热红外异常与地面增温异常[J].科学通报,1991,36(4):291-294.
- [3] 质赏恭,王宣吉,强祖基.卫星热红外异常增温与常熟临震前兆[J].科学通报,1992,37(9):821-824.
- [4] 徐秀登,强祖基,质赏恭.卫星热红外图象与震兆异常.环境遥感[J],1991,6(4):261-266.
- [5] 徐秀登,强祖基,质赏恭.非增温背景下的热红外异常兼机制讨论[J].科学通报,1991,36(11):841-844.
- [6] 董超华.气象卫星业务产品释用手册[M].北京:气象出版社,1999.1324-1327.
- [7] 徐秀登,徐向民,王煜.台湾南投 7.6 级地震的热红外异常[J].地震学报,2000,22(6):666-669.
- [8] 徐秀登.卫星红外异常预测短临地震的系统研究 II——异常的基本特征与新方法基本思路[J].科学技术与工程,2003,3(6):340-343.

EXPLOITATION STUDY ON SHORT - IMPENDING EARTHQUAKE PREDICTION USING THE METEOROLOGIC SATELLITE INCEPT - TREATMENT SYSTEM

XU Xiu-deng, XU Bao-hua

(Satellite Remote-sensing Study Center of Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang, PRC. 321004, Chian)

Abstract In exploration of short - impending earthquake prediction based on the infrared ground temperature anomaly from meteorologic satellites, how to exploit the analyzing - treatment system of the satellite for catching, defining and abstracting the earthquake precursor anomalies, analyze the time - space evolution of the anomalies and erect the prediction indexes for "three factors of earthquake" are introduced in the paper. Some earthquake prediction examples for using this method are given also.

Key words : Earthquake prediction ; Meteorologic satellite ; Treatment system ; Ground temperature anomaly