

# 遥感地震监测应用综述

陈六嘉

(华东师范大学资源与环境科学院,上海 200063)

**摘要:**我国位于地震多发区,地震是对我国造成危害程度最大的自然灾害之一。对于遥感技术在地震监测中的应用,我国已持续了多项研究。本文从地震预测、地震灾害评估两方面分析了遥感在地震中的应用现状,同时对遥感技术在使用中存在的问题提出了建议。

**关键词:**遥感;地震

**doi:**10.3969/j.issn.1000-3177.2012.01.021

**中图分类号:**TP79 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3177(2012)119-0105-05

## Summary of Application of Remote Sensing Earthquake Monitoring

CHEN Liu-jia

(College of Resources and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200063)

**Abstract:** China is located in an earthquake-prone area and the earthquake is one of the largest natural hazards which harmed the country. For remote sensing technology in earthquake monitoring, China has continuously conducted a series of studies. This paper analyzes the application of the remote sensing technique in earthquake prediction and seismic hazard assessment and the use of remote sensing technology in the problems suggested.

**Key words:** remote sensing; earthquake

### 1 引言

中国位于世界两大地震带,环太平洋地震带和欧亚地震带的交界处,地震频繁,震灾严重。从公元前 1831 年中国最早的地震记载开始,至今共有地震记载近千次,其中 6 级以上的破坏性地震 800 多次<sup>[1]</sup>。新中国成立以后,地震也给中国带来多次大的灾难,例如:1976 年的唐山发生的 7.8 级地震,造成 24 万多人死亡;2008 年的汶川 8.0 级地震,造成的直接经济损失 8451 亿元人民币,死亡人数达到 8.7 万人<sup>[2]</sup>。频发的地震严重威胁着人民的生命和财产的安全。上世纪 90 年代之前,我国的地震监测主要依靠地面布设观测台站来进行地震活动的地球物理和化学现象观测。但是这种方法有着很大的局限性:①布点数量有限,并且布点位置受地表设站条

件影响很大;②观测数据汇集的时效性要求也无法及时地得到满足;③不能获取地面上大范围灾害信息。自 20 世纪 80 年代以来,伴随着科学技术的迅猛发展,遥感对地观测能力也随之有了很大的进步,配合遥感技术的应用,可以在很大程度上弥补台站单一监测手段的不足。卫星或航空遥感技术可获取灾区大范围地面观测数据,具有获取震灾信息速度快、周期短,获取信息受气象气候条件限制少,获取手段多,获取信息量大等特点。从而丰富了地震灾害监测的手段,增加了地震灾害监测的准确性。从近年发生的数次大的地震灾害灾后应急的实际情况来看,遥感技术对监测地震起到了越来越大、甚至是不可替代的作用。现就地震灾害发生、发展的不同阶段,对遥感技术在地震灾害应对中的作用给予分析。

收稿日期:2011-05-17 修订日期:2011-07-22

作者简介:陈六嘉(1990~),男,地理科学,大学本科生。

E-mail: chenliujia2008@yahoo.cn

## 2 地震预测

### 2.1 利用卫星热红外异常预测地震

长期以来,人们一直期待遥感技术能在地震震前的短临预测方面有所作为。地震的发生有着各种先兆,其中震前地表温度异常现象较早得到人们的关注。1984年苏联学者 A. P. Bunopkuš 在对中亚加兹利的一系列地震研究中发现,震前 10d 左右,震中区两组断裂交汇部位的上空出现红外辐射异常的现象,由此提出震前有热红外异常的观点<sup>[2]</sup>。自此通过监测地表热红外异常进行地震预测的方法逐渐得到了应用。

关于育震区震前热红外异常法现象,主要有以下两种观点:①地球放气学说最早由我国著名地震学家傅承义提出,他认为在育震区岩石运动比较频繁,会发生一系列物理和化学反应,使得岩石圈与大气圈进行大量的物质和能量交换,岩层中一些气体会在短时间内大规模的排入到大气中,从而使得低空温度上升;②刘善军<sup>[3]</sup>等为代表的应力致热学说认为:地球固体介质受到应力后,温度、红外热像都会发生变化,其热效应主要来自岩石间的热弹效应和摩擦热效应。

强祖基<sup>[4-5]</sup>等在我国最早将卫星热红外异常影像应用于地震短临预报中,他们从 1900 年到 1996 年共预报了 63 次地震,其中较准的有 12 次,较好的 30 次,较差的有 15 次,虚报有 6 次。通过这些预报过程中对卫星热红外异常演化的分析研究认为,地震主震和热红外前兆一般有 1 天~30 天的间隔。而地震震中的位置可由地震前该区域热红外演化特征判断出:热红外异常带的延伸方向与地震震中位置大致吻合,地震的震级也可由热红外异常区的面积大小进行估计,面积越大,地震震级越高。

吕琪琦<sup>[6]</sup>等利用 NOAA-AVHRR 热红外通道数据,对遥感数据进行处理,得到了一系列研究成果。张北 6.2 级地震前 10 天,张家口—渤海地震带上出现了大范围的热红外异常,地震的震中在热红外异常带的边缘;魏乐军<sup>[7]</sup>等对收集的 FY-2C 红外波段的卫星遥感图像进行解译和分析,发现早在汶川大地震前 55 天,就开始出现卫星热红外异常。到大地震发生时,共有 5 次大规模的孤立增温异常。这些都证实了地震短临震兆中热红外异常现象有一定规律性。

监测热红外异常的方法现在已经大规模应用于地震短临预测,并且有一定的准确性。但是由

于热红外异常容易受到多种因素的干扰,其震前识别还有不小的难度,应在充分利用它的时效性的同时,与其他地震前兆异常结合分析,从而发挥更大的作用。

### 2.2 利用卫星云图预测地震

除了利用卫星热红外异常预测地震,还有一种常见的地震预测方法是通过卫星云图观测地震云预测地震。地震云预测地震最早出现在我国,在 16 世纪就曾记载有人利用云来预测地震;之后在 20 世纪 70 年代到 80 年代中期这种方法曾出现在中国和日本,但很快沉寂。当今利用地震云预测地震最成功的人是旅美中国研究者寿仲浩,他通过观测卫星云图,提出了利用地震云预测中短临地震的基本方法。

寿仲浩认为地震云是育震区构造活动加剧使得岩石中的水份在高温、高压下变成水蒸汽,水蒸汽再通过岩石裂缝到达地表不断上升冷凝形成的。寿总结出了地震云区别于其他气象云的特征,他认为地震云在时间上都是突然出现,在空间分布上是与构造断裂代密切相关,在形状上多为线性、蛇形、鱼鳞形。

王斌等从 1990 年开始利用卫星云图预测地震,成功率在 60% 以上。他们根据数百次的地震预测实践总结出地震云平均出现在地震之前 30 天,最长时超过 3 个月,最短为一天。地震云的大小可以指示出地震的震级,地震云出现的最初位置指示出地震的震中。他们又将利用卫星云图预测地震与 MDCB 地震前兆监测仪、地表热红外遥感方法相结合,把预测地震的成功率提高到 80% 以上。

利用地震云预测地震现在被一些人认为是预测地震最准确的一种方法,它的优点在于它可以简单而快速地确定地震可能发生的大范围并且有较高的成功率,但是这种方法也存在着一些问题:①地震云的形成机理研究还不成熟,不能锁定出一个比较精确的范围;②对于地震云与气象云的区分十分依赖于人的经验和卫星红外图的时间、空间、光谱等分辨率和应用技术。所以目前这种方法最佳利用方式是将其与已长久研究的卫星红外遥感短临地震的方法结合起来,可以有较好的实用效果。

## 3 地震灾害评估

地震发生后会产生一系列震害,而震害大致可分为地震直接灾害和地震次生灾害两类。无论是直接灾害还是次生灾害都会对人们的生命财产安全带

来很大的危害。遥感技术以其时效性强、宏观性强、信息量丰富等特点,可以快速而准确地了解到灾区的受灾情况,从而更好地进行灾害评估以及组织灾害救援等工作。

### 3.1 地震直接震害

地震直接震害是指其释放的能量直接对人类生命财产和资源环境造成的危害,它是地震灾害的最主要的组成部分,包括房屋倒塌、人员伤亡,以及公路、铁路、桥梁、机场、水电站等基础设施的破坏。

#### 3.1.1 房屋倒塌

在直接危害中,房屋倒塌对人类危害最为直接,它直接反应了地震对震区的破坏程度,是灾区伤亡人数推测、经济损失估计和灾后重建重要的参考信息。目前我国对于房屋倒塌情况的评估主要有两种方法,分别是利用高分辨率光学图像进行目视判读和利用计算机进行自动识别。

(1)目视判读方法主要是通过通过对高分辨率遥感图像的识别,判读房屋倒塌与否或损坏情况。雷莉萍<sup>[8]</sup>等在汶川地震后运用这种方法对房屋倒塌状况进行评估,他们采用了震后的 0.5m 高空间分辨率 ADS40 数字光学图像。在目视判读的过程中,分别运用了两种方法:①对震区居民点密集区房屋倒塌率的分析,逐个居民点以房屋聚集区为单位画出图斑,目视判读图斑区内倒塌房屋所占比率;②采样判读插值法,详细地判读勾画出倒塌房屋和未倒塌房屋。鉴于灾区面积很大,全部区域采用方法①的判读工作量过大难以短时间完成,就从中抽样出一些乡镇,得到这些地区的房屋倒塌率之后再利用距离反比插值法推算出整个地区房屋倒塌率的空间分布。这两种方法各有利弊,方法①运用斑块直接目视判读,可以在短时间内得到一个房屋倒塌率,但是由于受判读者的主观判断影响较大,尤其在倒塌率较低时所得到的房屋倒塌比率不太准确。方法②运用样点逐一判读再实施面上插值的方法,得到的结果会比方法①所得结果在整体上更加符合震害分布趋势,但是工作量是方法①的数倍,很难在灾害发生的第一时间完成,为救灾提供指导。

(2)计算机自动识别方法是指计算机对震前、震后的遥感卫星数据进行影像匹配,得到两者变化显著的区域,从而获取房屋倒塌信息。郭华东<sup>[9]</sup>在 Pesaresi 等人以 SPOT5 全色波段分辨率 2.5m 和 3 个多光谱地面分辨率为 10m 的图像上计算机判读方法的基础上,提出了一种建立在 ADS40 数据上的

一次性识别倒塌房屋面积覆盖率的计算机自动识别技术。该技术建立在计算机形态理论和电磁波反射机理的基础之上,判读过程分为 3 步:①分析倒塌房屋特性,了解倒塌房屋的形态学特征,再在  $5 \times 5$  矩阵中设计 10 个窗口,分别计算灰度值,之后生成 10 个序列影像,令最小值作为候选波段;②对剩余波段增强地物的处理;③将前两步的结果进行合成得到新的图像,再将新图像与原始图像进行关联对比。这种方法的优点在于以计算机处理为主,无需人的主观介入,速度快并且识别率优于 95%,但在房屋部分倒塌的地区,其测定结果精度仍显不足。

从总体来说,目前阶段研究的重点是计算机识别技术,这种方法可以在短时间内完成房屋倒塌程度的测算,但现在这种技术还不完善,需要有专家的遥感图像快速目视判读分析和自动识别结果的确认分析,未来需把研究重心放在 GIS 数据快速叠加显示和人机交互判读功能。

#### 3.1.2 道路损坏

除了房屋倒塌,地震的直接震害中,道路等交通设施的损毁也对灾后救援工作的开展有很大的影响。在地震发生后,人们需要向灾区运送大量的救灾人员和物资,而道路是运输的最主要的途径,道路受灾状况的评估对于救灾方案的选择有着举足轻重的作用。遥感技术此时就成为道路损毁情况评估的重要手段,由于地震灾区气象条件以及高分辨率卫星重访周期等条件的限制,往往做不到在第一时间获取震后灾区的高分辨率遥感数据。在国内,道路受破坏情况评估主要利用航空平台获取的遥感影像数据进行解译。为了最大限度地争取抢险救灾的时间,目前多采用先对图像进行简单预处理、目视判读的方法进行快速评估。秦军<sup>[10]</sup>等通过对汶川地震后可见光光谱段高几何分辨率的天然彩色遥感图像的分析,建立了一套道路损毁度遥感评估模型,选择道路损毁类型、规模以及比例 3 点作为评估指标,将道路损毁度分为 5 个等级,分别是较轻微损毁( $A \leq 0.01$ )、轻微损毁( $0.01 < A \leq 0.10$ )、较严重损毁( $0.10 < A \leq 0.20$ )、严重损毁( $0.20 < A \leq 0.30$ )以及完全损毁( $A > 0.30$ ),其中道路损毁度( $A$ ) =  $\sum$ (损毁比例  $\times$  受损系数  $\times$  规模系数)。依照该模型他们对都—汶川道路损毁度进行计算,并根据分级指标体系对道路损毁程度进行评估,绘制出白沙到夏家坪段道路的损毁程度评估图。该方法可以很好地判读出道路是否损毁,但是对于道路具体的损毁程度,尤其是完全损毁程度的判定准确度还有待提高。

### 3.2 地震次生灾害

地震除直接震害外还会引发大量的次生灾害,包括:滑坡泥石流等地质灾害、火灾、海啸、水库溃坝或堰塞湖引起的水灾、传染性疾病、毒气泄露和核扩散等其他次生灾害等。次生灾害常常互为因果,情况复杂,其危害有时不亚于直接灾害导致的损失。1932年的日本关东8.2级地震产生的破坏主要来自于次生灾害中的火灾,大火持续了三天两夜,横滨和东京都遭到毁灭性破坏;汶川地震总共造成8.7万人的死亡和失踪,其中2万人以上的死亡是由地震造成的次生山地灾害造成的;今年日本发生的东北大地震,不仅直接灾害损失极为严重,地震诱发的海啸导致沿海低地大范围淹没,滨海核电站冷却系统发生故障导致严重的核泄露事故,其长期影响目前尚难预估。遥感手段不受时空限制、不受地震破坏的影响,信息获取优势再次得到体现,同样也已成为地震次生灾害评估的主要信息获取手段。

#### 3.2.1 地震次生地质灾害

指由地震直接引发或由地震作用影响而引发的灾害性地貌重塑过程,包括崩塌、滑坡、泥石流、滚石和堰塞湖等。对于各种地质灾害的遥感解译,目前仍主要采用目视判读的方法,需要判读者熟知滑坡、泥石流等在遥感图像上的形态、结构和颜色特征。对于滑坡的遥感解译主要从形态、色调、阴影、纹理等进行,通过识别遥感图像上的崩塌厚壁和崩塌堆积的变化可以监测其活动状况。滑坡发生时会出现一个圈状或马蹄状地形,并且一个发育完全的滑坡至少有滑坡体、滑坡厚壁等基本结构要素<sup>[11]</sup>。判读过程中还需结合周边地质环境特征进行判断,滑坡体一般发育在有特定地质环境条件的地区。对于崩塌的解译特征可以从崩塌处的明显崩塌壁,滑坡壁的纹理、颜色与周边有所不同;另一个变化是崩塌斜坡下会出现崩塌堆积物,一般呈锥形,这两种变化都可以很容易地从遥感图像上看出。对于泥石流的解译主要是对堆积区的识别,泥石流一般出现在沟谷出口处,形态为堆积扇或堆积锥,堆积物颜色呈浅色调,并且泥石流多出现在有大量松散物质、水源充足、地形陡峭的地区。王治华<sup>[12]</sup>等以TM(用于区域地质环境解译)、IKONO和QuickBird 3种类型卫星数据作为遥感信息源,以天台乡滑坡、干坪坪滑坡稳定性评估及三峡库区中前段区域滑坡危险性评价为例从滑坡边界、滑坡方向、滑动距离、滑动速度和滑坡体规模等5个方面评估滑坡的稳定性以及其

未来活动的可能性。利用中等分辨率和高分辨率遥感图像相结合进行解译,并结合了GIS技术中的空间分析方法许冲<sup>[13]</sup>等在获取了分辨率为1m的彩色航片、分辨率为2.5m的SPOT5影像、1m分辨率的QuickBird遥感影像、分辨率为19.5m的CBERS-02B卫星CCD多光谱影像、2.5m分辨率的IRS-P5全色卫星影像以及3m分辨率的OSMO-SKYMED雷达卫星数据后,采用人工目视解译的方法统计出汶川地震重灾区的主要地质灾害,分析了地震次生地质灾害的分布,与高程、坡度、地震烈度之间的关系。曲来超<sup>[14]</sup>等将遥感技术与GIS、GPS技术相结合以四川堰塞湖为例提出堰塞湖的应急治理方法。

由于目前卫星数据空间分辨率的限制,不能有效地判别一些中小型的震害,未来应加紧研制高空分辨率的遥感卫星并利用得到的高分辨率影像对重点区域进行成像监测。

#### 3.2.2 水灾

地震带来的水灾包括海啸,地震造成水库大坝或河湖堤防开裂、陷落、垮塌引发的洪水灾害,地震此生地质灾害造成的水库、河湖溃决引发的水灾等。其中海啸由于破坏力极大,受到较多重视,它会给沿海地区的地表设施、田野甚至森林带来毁灭性打击。根据日本东北大地震诱发的海啸有关研究,在特定的港湾内海啸导致的涌浪最高达32m,其摧毁力十分惊人。由于海啸发生后海水会大量涌上滨海低地,比较灾前灾后同一地区的遥感图像可看到明显的破坏影响范围和毁坏痕迹。黄诗峰<sup>[15]</sup>等以DMC卫星遥感图像为基础,结合Landsat ETM+图像,对印度尼西亚省遭受海啸的地区进行评估;刘亚岚<sup>[16]</sup>等采用DMC图像和IKONOS图像同样对印度尼西亚省受灾地区进行评估,对灾区分级分类,定量分析,给出灾区受灾状况分布。目前这种技术受到卫星影像分辨率较低(32m)的影响,不能监测海啸灾情轻微地区,也不能对具体受灾状况进行监测,未来发展方向在于利用更高分辨率的影像,比如4m分辨率的全色CDD相机得到的影像来进行海啸灾情监测。

## 4 结束语

遥感技术已经应用于大范围地震的监测,我国在相关领域的研究工作开展渐趋广泛,发展异常迅猛,尤其是近些年在地震频发的情况下,使得该技术的相关应用得到了很大的重视。针对目前常用的遥感地震监测方法及其技术成熟度,本文提出以下

看法:

(1)遥感技术是地震灾害监测的有效途径

遥感技术对地震监测具有独特的优势,主要体现在宏观而快速获取灾区地面信息,多时相数据的时序分析还可以从宏观上对地震直接和次生灾害发生状况、发展过程和趋势进行评估。

(2)灾前和灾后遥感监测的有效性差异明显

从实际应用情况看,灾后监测的有效性已毋庸置疑,机动灵活的航空遥感方法与卫星遥感方法相结合,已可及时有效地获取灾区信息,直接用于灾害救援和应对,业务化程度较高;但与人们寄希望于其在灾前短临预报中能发挥作用的期望相比较,受多种干扰因素的影响,遥感方法在灾前区域热异常、甲烷异常监测的准确性、有效性和可实施性还有待进一步探索,与地面台站观测数据的耦合机理仍需持续研究。

(3)遥感灾后监测的自动化程度仍有待提高

虽然遥感技术应用于地震灾情分析已经多年的发展渐趋成熟,但相关信息提取的过程中对判读者知识经验的依赖仍较重,目视判读的工作量大,灾情分析与信息提取时间长,信息获取和信息处理过程还不能完全满足震后快速判明情况、准确组织救灾

的时效性要求。未来的发展方向寄希望于计算机自动分析为主、仅用人工进行有限校核的工作模式,模糊分析、智能推理等计算机判读技术还亟待发展。

(4)遥感分析流程与成果形式标准化仍待加强

以往各次地震遥感监测的尝试,采用不同的遥感监测方法、针对区域地理差异明显的不同地区,面对不同的直接震害和次生震害类型,使得技术之间几乎没有通用的分析流程。分析成果的载体和表现形式也存在着十分明显的随意性和不确定性,需逐步梳理出一个有一定通用性的分析评估体系,规范流程和成果载体,积极推进科研探索工作成果的转化,不断提高遥感震灾监测的业务化水平。

(5)注重数据尺度匹配不断提高遥感分析准确性

从以往遥感震害分析的时间看,获取的信息源时间、空间尺度不匹配,还不能形成比较完备的空间、时序数据集用于灾情分析,数据的粗细不一、时序的间断均影响了数据分析成果的准确性、有效性;遥感观测数据与台站等地面观测数据的耦合、信息提取方法研究还亟待深化;人工目视解译对判读者知识经验的依赖短期还无法替代,为获得尽可能标准化的分析结果,对从事该项工作人员的持续培训还需不断加强,并常态化。

#### 参考文献

- [1] 刘庆声. 卫星能预测地震[EB/OL]. 2003-11-11. 北京科普之窗, <http://www.bast.net.cn/bjcpzc/kjqy/kjcx/11921.shtml>.
- [2] 吕月琳,毛玉平,史正涛. 热红外遥感在地震监测预测中的应用[J]. 科技导报,2009(06).
- [3] 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):32-36.
- [4] 强祖基,徐秀登,侯常恭. 利用卫星热红外异常作地震预报[J]. 中国航天,1991(04).
- [5] 李玲芝,徐珉,王璐,等. 卫星热红外异常与地震预报[J]. 航天技术与民品,1998(07).
- [6] 吕琪琦,丁鉴海,崔承禹. 1998年1月10日张北6.2级地震前可能的卫星热红外异常现象[J]. 地震学报,2000(02).
- [7] 魏乐军,郭坚峰,蔡慧,等. 汶川 M<sub>S</sub>8.0 地震前的卫星热红外异常[J]. 国际地震动态,2008(11).
- [8] 雷莉萍,刘良云,张丽,等. 汶川地震房屋倒塌的遥感监测与分析[J]. 遥感学报,2010(02).
- [9] 郭华东,鹿琳琳,马建文,等. 一种改进的地震灾害倒塌房屋遥感信息自动识别方法[J]. 科学通报,2009(17).
- [10] 秦军,曹云刚,耿娟. 汶川地震灾区道路损毁度遥感评估模型[J]. 西南交通大学学报,2010(05).
- [11] 吴积善,田连权,康志成,等. 泥石流及其综合治理[M]. 科学出版社,1993.
- [12] 王治华. 滑坡遥感调查、监测与评估[J]. 国土资源遥感,2007(01).
- [13] 许冲,戴福初,等. 汶川 Ms8.0 地震重灾区次生地质灾害遥感精细解译[J]. 遥感学报,2009(04).
- [14] 曲来超,袁占良,王志龙,等. 3S技术在堰塞湖应急治理中的应用研究[J]. 测绘与空间地理信息,2009(01).
- [15] 黄诗峰,李琳,徐美. 2004年印度洋海啸印尼齐省灾情遥感监测与分析[J]. 遥感学报,2005(04).
- [16] 刘亚岚,魏成阶,武晓波. 印度洋海啸灾害遥感监测与评估——以印度尼西亚齐省为例[J]. 遥感学报,2005(04).