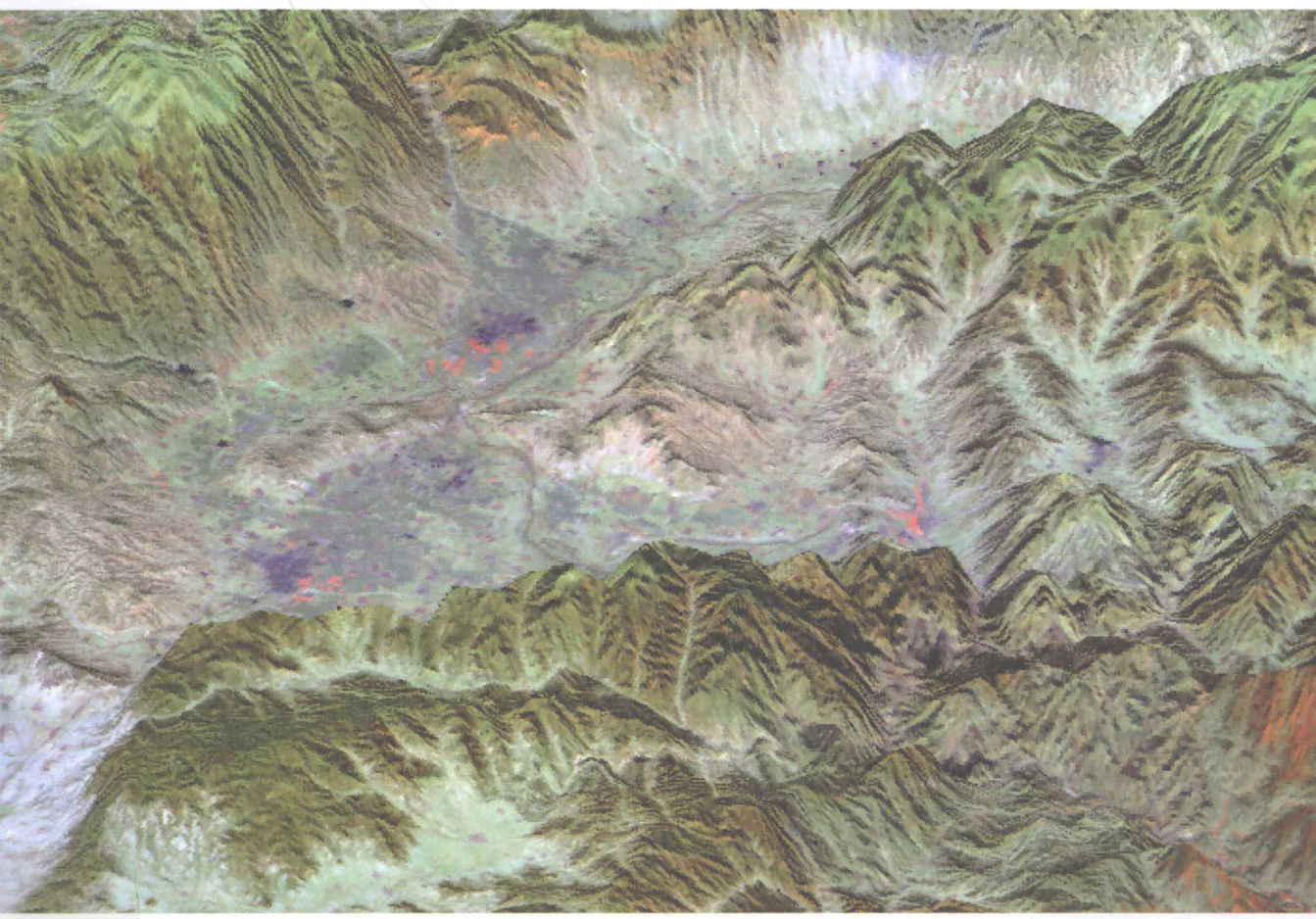


24

地壳构造与地壳应力文集

中国地震局地壳应力研究所 编



地震出版社

地壳构造与地壳应力文集(24)

中国地震局地壳应力研究所 编

地震出版社

2012

图书在版编目(CIP)数据

地壳构造与地壳应力文集(24)/中国地震局地壳应力研究所编.

—北京:地震出版社,2012.9

ISBN 978-7-5028-4132-4

I. ①地… II. ①中… III. ①地壳构造—文集 ②构造地应力—文集

IV. ①P313.2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 201194 号

地震版 XM2542

内 容 提 要

本书为中国地震局地壳应力研究所连续性学术论文集的第 24 集。全书包括地震地质、工程地震、地下流体和钻孔应力应变前兆观测等方面的内容。

本书可供地震地质、工程地质、地应力测量技术与应用、地震监测预报和地震救援等领域的人员及有关大专院校的师生阅读。

地壳构造与地壳应力文集(24)

中国地震局地壳应力研究所 编

责任编辑:刘晶海

特邀编辑:张宝红

责任校对:庞亚萍

出版发行:地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编:100081

发行部:68423031 68467993

传真:88421706

门市部:68467991

传真:68467991

总编室:68462709 68423029

传真:68455221

专业图书部:68467982 68721991

<http://www.dzpress.com.cn>

经销:全国各地新华书店

印刷:北京鑫丰华彩印有限公司

版(印)次:2012 年 9 月一版 2012 年 9 月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:275 千字

印张:11

印数:0001~1000

书号:ISBN 978-7-5028-4132-4/P(4809)

定价:25.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

编 委 会

主 编：谢富仁

副主编：陆 鸣 陈 虹 刘耀炜 杨树新

编 委：（按拼音排列）

陈 虹	陈连旺	崔效锋	付子忠	郭啟良	黄锡定
黄忠贤	江娃利	雷建设	李海亮	李 宏	陆 鸣
陆远忠	吕悦军	马保起	欧阳祖熙	邱泽华	宋富喜
唐荣余	田家勇	王恩福	王建军	王兰炜	王子影
吴荣辉	谢富仁	谢新生	杨树新	杨选辉	张宝红
张国宏	张鸿旭	张景发	张世民	周振安	朱守彪

目 录

汶川余震序列对日月运行的响应	马 莉等 (1)
遥感变化检测技术及其在震害信息提取中的应用	李成龙等 (7)
合成孔径雷达图像震害信息提取应用	刘金玉等 (14)
面向对象在遥感震害信息提取中的应用	刘明众等 (22)
三维激光扫描技术在震后地面三维重建中的应用	宿渊源等 (30)
地震波作用引起井孔水温变化特征研究进展	张 磊等 (38)
东三旗地震台萨克斯体应变仪的升级改造	马京杰等 (48)
中国地震地电场观测资料研究综述	颜 蕊等 (52)
数字强震仪校准技术的研究综述	甄宏伟等 (62)
中国大陆及邻区面波震级与近震震级之间的经验关系研究	谢卓娟等 (74)
设定地震研究综述	徐丹丹等 (89)
某抽水蓄能电站原地应力测试与厂房轴线方位优化设计	王建新等 (97)
区域应力状态与断层强度相关性探究	宋成科等 (105)
四川雀儿山错坝断裂活动特征	孙昌斌等 (116)
山西临汾盆地洪积扇上全新世黄土-古土壤序列发育特征	许建红等 (124)
五台山北麓东段晚第四纪洪积扇形成年代与成因分析	龚 正等 (131)
槽探与钻探相结合探测隐伏活断层古地震事件 ——以唐山断裂为例	孙昌斌 (147)
断层崩积楔光释光测年适用性研究	赵俊香 (156)
释光测年综述	赵俊香 (163)

Content

The responses of Wenchuan aftershock sequence to the movement of the Sun and the Moon	Ma Li Zhao Shuxian Wu Pingjing (6)
Remote sensing change detection and its application in the field of earthquake damage information extraction	Li Chenglong Zhang Jingfa (13)
Application of SAR Image in seismic disaster information extraction	Liu Jinyu Zhang Jingfa (21)
Application of Object-oriented Method for Extracting Seismic Disaster Information Using Remote Sensing Images ...	Liu Mingzhong, Zhang Jingfa, Gong Lixia (29)
3D ground reconstruction after earthquakes	Su Yuanyuan Zhang Jingfa (37)
Research on the changes of borehole temperature induced by seismic waves	Zhang Lei Liu Yaowei Zhang Bin (47)
The upgrade of Sacks-Evertson's body-strain meter in Dongsanqi Station	Ma Jingjie Li Hailiang Li Xiuhuan (51)
Review on geoelectric field data observed in China	Yan Rui Hu Zhe Zhu Xu Zhang Xingguo Zhang Yu (61)
Review of calibration technology of digital strong motion accelerograph	Zhen Hongwei Yang Shuxin Zhang Zhoushu (73)
Study on the empirical relations between surface wave magnitude and local earthquake magnitude in the China mainland and neighbouring region	Xie Zhuojuan Lu Yuejun Peng Yanju Zhang Lifang (88)
Review on study of scenario earthquake	Xu Dandan Rong Mianshui Lu Yuejun (96)
The optimization design of plant position in a Pumped-storage Power Station based on in-situ field stress test	Wang Jianxin Guo Qiliang Li Bing (104)
Exploration of the correlation between regional stress state and fault strength	Song Chengke Wang Chenghu (115)
Activity characteristics of the Cuoba fault in Queershan, Sichuan province	Sun Changbin Jiang Wali Du Yi (123)
The characteristic of holocene loess-paleosol sequence on the alluvial-fluvial fan in Linfen Basin, Shanxi	Xu Jianhong Xie Xinsheng (130)
A research of Late Quaternary alluvial and diluvial geomorphic units along the northeast section of the northern piedmont fault of Wutai Mountain	Gong Zheng Ding Rui Li Tianlong Zhang Shimin (146)
Trenching and drilling to detect paleoearthquake events of buried active fault—A case study of the Tangshan fault	Sun Changbin (155)
OSL dating of fault collapse wedge	Zhao Junxiang (162)
Review of Luminescence dating	Zhao Junxiang (169)

汶川余震序列对日月运行的响应

马 莉 赵树贤 吴平静

(中国地震局地壳应力研究所 北京 100085)

摘 要 地震的发生与日月运行有关联,表现为地震序列对日月运行的周期有响应。为了更加客观全面地把握地震序列的日月运行响应周期,本文定义了一个定量刻画地震序列周期性的指标——周期性指数,通过计算汶川 $M \geq 5.0$ 余震序列在不同长度周期的周期性指数,绘制周期性指数——周期图,从中辨识出日月运行的三个响应周期:太阳日周期、准 27 天太阳自转周期和朔望月周期。

一、引 言

研究表明地震的发生与日月运行有关联(范兴川等,2009;赵树贤等,2011),表现为地震序列对日月运行的周期有响应,这些周期包括太阳日周期,朔望月周期和回归年周期。太阳日周期是太阳连续两次经过震中上中天的时间间隔,地震在地方时上的分布规律能反映地震的太阳日周期。众多研究表明,地震在地方时上具有一定的聚集特征(高伟等,1990;高伟等,1996;胡辉等,1999;冯向东等,2005)。月亮是离地球最近的天体,关于地震与朔望月之间的联系也在众多研究中被论述(Shirley JH, 1985; Juan Zhao et al., 2000; 丁鉴海等,1994;陈学忠等,1998;李丽等,2001;胡辉等,2000)。回归年是指从地球上,太阳绕天球的黄道一周的时间,即太阳中心从春分点到春分点所经历的时间,地震的回归年周期反映地震在季节上的聚集特征(R. Westaway, 2002; M. Ohtake et al., 1999; 赵根模等,2001)。

为了更加客观系统地把握地震序列的日月运行响应周期,我们定义了一个定量刻画地震序列周期性的指标——周期性指数,通过计算地震序列在不同长度周期的周期性指数,绘制周期性指数——周期图,就可以从中辨识出日月运行的所有响应周期。余震隶属于主震,又发生在局部地区,其发震的构造条件相对单一,容易突显出日月运行的响应周期。2008 年 5 月 12 日发生的汶川 8.0 级地震属于典型的大陆地震,其余震序列的时空界限清晰,为我们提供了一个理想的研究实例。

二、周期性指数

设 $N(N \geq 2)$ 个地震 1, 2, ..., N 在长度为 T 周期内的相位为 $0 \leq p_1 \leq p_2 \leq \dots \leq p_N < T$, 两个地震 i, j 在顺时针方向上构成地震集合 K_{ij} ,

$$K_{ij} = \begin{cases} \{k \mid i \leq k < j\} & i < j \\ \{k \mid k \geq i \text{ 或 } k < j\} & i > j \end{cases}$$

K_{ij} 占用相位段 P_{ij}

$$P_{ij} = \begin{cases} [p_i, p_j) & i < j \\ [p_i, T) \cup [0, p_j) & i > j \end{cases}$$

则相位段 P_{ij} 的周期性空震率 C_{ij} 定义为 P_{ij} 的占时率与 K_{ij} 的有震周期占有率之差, 即:

$$c_{ij} = \begin{cases} \frac{p_j - p_i}{T} - \frac{n1}{n} & i < j \\ \frac{T - p_i + p_j}{T} - \frac{n1}{n} & i > j \end{cases}$$

式中, n 为有震周期数; $n1$ 为有 K_{ij} 中地震的周期数。 c_{ij} 在 $[-1, 1]$ 上变化, $c_{ij} > 0$, 则 P_{ij} 具有周期性空震能力, 称为相对空震段, 简称为空震段, 且 c_{ij} 愈大, 周期性空震能力愈强; $c_{ij} \leq 0$, 则 P_{ij} 不具有周期性空震能力, 称为相对有震段, 简称为有震段。

设周期 T 中共有 M 个空震段, 第 m 个空震段的周期性空震率为 c_m , 累加所有空震段的周期性空震率作为周期 T 的周期性指数 PI , 即

$$PI = \sum_{m=1}^M c_m$$

当 N 个地震的相位呈均匀分布或位于同一周期时, $PI=0$, 周期性最弱; 当 N 个地震的相位相同且位于不同周期时, $PI = \frac{N^2 - 1}{6}$, 周期性最强。据此, 对周期性指数 PI 进行归一化:

$$PI = \frac{6}{N^2 - 1} \sum_{m=1}^M c_m \quad c \in [0, 1]$$

设 p 为周期 T 的相位点, 其周期性空震能力定义为覆盖该点的所有相位段周期性空震能力的最大值 $c(p)$, 则

$$c = c(p) \quad p \in [0, T)$$

为周期 T 的周期性结构。

图 1 示出了 8 个地震分布在不同周期、不同相位上的周期性指数和结构。

三、汶川 $M \geq 5.0$ 余震序列

2008 年 5 月 12 日, 龙门山断裂带发生 8.0 级大地震。根据中国地震台网中心汶川地震目录, 截至 2010 年 6 月 1 日为止, 共发生 $M \geq 5.0$ 余震 78 次。以汶川主震发生时刻作为周期划分起点, 以 0.01 天为间隔, 计算 0.01 天至 50 天周期汶川 $M \geq 5.0$ 余震序列的周期性指数, 得到图 2 所示的周期性指数——周期图。从中可看出日月运行的三个甚为明显的响应周期, 分别为太阳日周期(1d), 准 27 天太阳自转周期(27.48d)和朔望月周期(29.55d), 其中, 太阳日周期有比其基波强得多的二次谐波成分(0.5d), 准 27 天太阳自转周期也有明显的二次谐波成分(13.74d)。它们的周期性指数和周期性结构详见图 3。

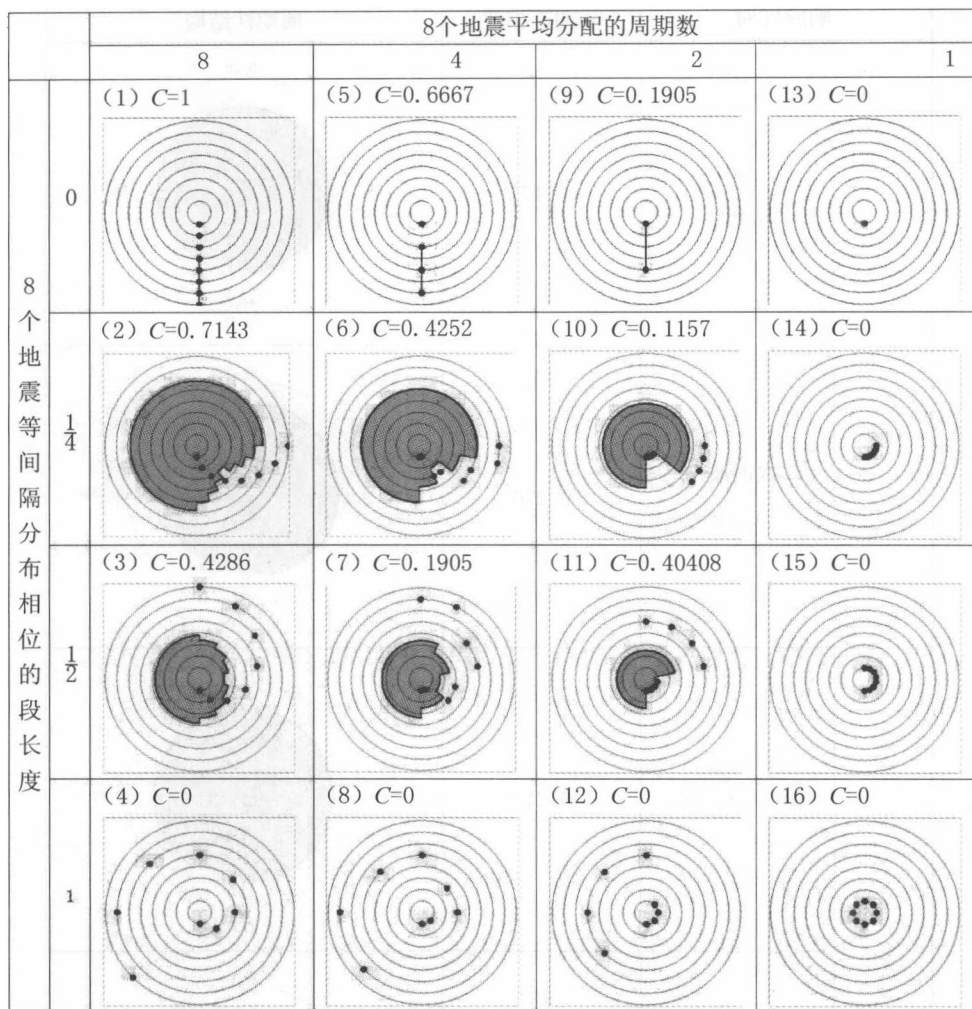
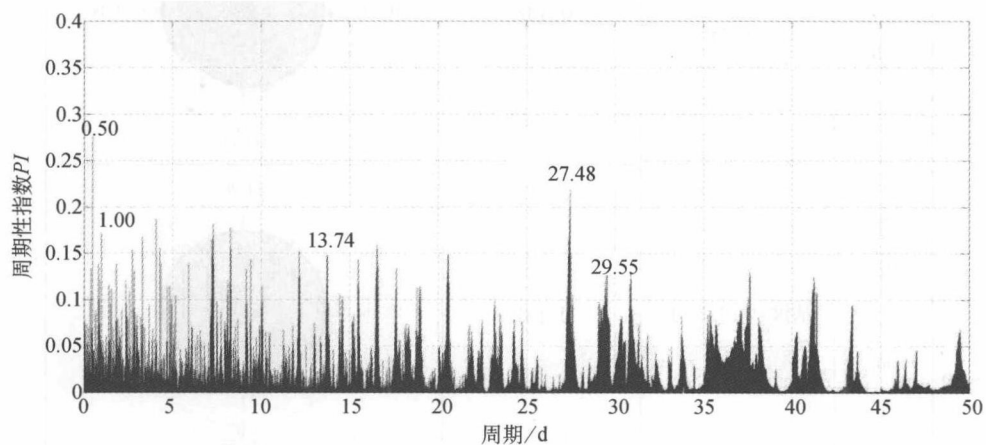


图1 周期性指数及结构示例图

图2 汶川 $M \geq 5.0$ 余震序列周期性指数-周期图

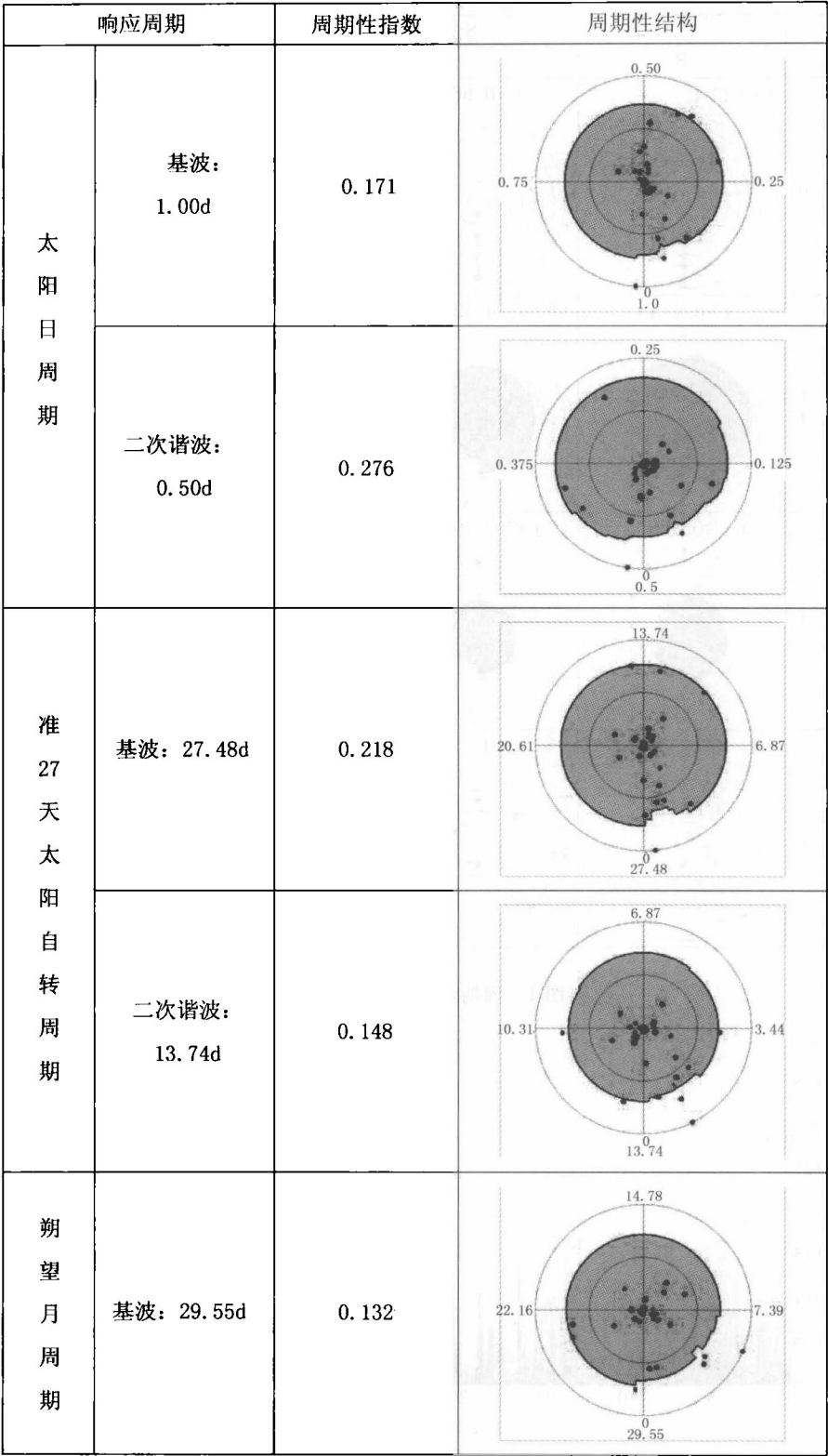


图 3 汶川 $M \geq 5.0$ 余震序列周期性结构图

四、分析与结论

地震的发生与多个日月运行周期有关联,空震比有震更倾向于反映单个周期的特征,为此,我们基于相位段空震能力定义周期性指数来刻画地震序列的周期性。周期性指数累加了所有相对空震相位段的周期性空震能力,因此,它包含了全部的周期性空震信息。

汶川 $M \geq 5.0$ 余震序列对日月运行的太阳日周期、准 27 天太阳自转周期和朔望月周期有响应。其中,太阳日周期反映的是太阳在震中东西方向上的位置;准 27 天太阳自转周期反映的是地球在太阳经度上的位置;朔望月周期反映的是地球赤道面上日月相对位置的变化。说明,汶川 $M \geq 5.0$ 余震的发生与日月运行存在一定的关联性。

参 考 文 献

- 陈学忠,钟南才,丁鉴海.1998.华北地区地震活动的月相效应及其预测意义.地震,18(4):325~330.
- 丁鉴海,董雪香,戴淑玲.1994.地震活动的月相效应.地震,8(4):7~13.
- 范兴川,佟旭.2009.探索地震预报尚需关注“天外来客”.科学中国人,(2):64~71.
- 冯向东,魏东平.2005.基于ISC、SCSN与CRN地震记录的地方时统计特征与频谱分析.中国科学院研究生院学报,22(3):352~358.
- 高伟,刘蒲雄,许绍燮等.1990.地震与太阳、月亮位置的关系(一)——强震孕育区广义前震序列的某些时间特征.地震学报,18(1):70~77.
- 高伟,刘蒲雄,许绍燮等.1996.地震与太阳、月亮位置的关系(二)——强震余震序列的某些时间特征.地震学报,8(3):333~339.
- 胡辉,李晓明.1999.中国大地震的天文特征及未来两年的大震趋势.地球物理学进展,14(4):109~114.
- 胡辉,王锐,李晓明.2000.日月引潮力与地震.云南天文台台刊,(4):101~104.
- 李丽,陈颀,张国民.2001.台湾及邻区 $M_b \geq 4.0$ 地震受月相调制的时空统计研究.中国地震,17(2):210~220.
- 赵根模,张恒,任峰.2001.中国地震昼夜分布和季节分布的统计分析.地震,21(3):51~56.
- 赵树贤,许绍燮,吴平静等.2011.地震发生与日月运行之关联.科技导报,29(13):8~13.
- Juan Zhao, Yanben Han, Zhian Li. 2000. Variation of Lunar-Solar Tidal Force and Earthquakes in Taiwan Island of China. Earth, Moon, and Planets, 88(3):123~129.
- M Ohtake, H Nakahara. 1999. Seasonality of Great Earthquake Occurrence at the Northwestern Margin of the Philippine Sea Plate. Pure and Applied Geophysics, 155(2-4):689~700.
- R. Westaway. 2002. Seasonal Seismicity of Northern California Before the Great 1906 Earthquake. Pure and Applied Geophysics, 159(1):7~62.
- Shirley J H. 1985. Shallow moonquakes and large shallow earthquakes: a temporal correlation. Planet. Sci. Lett., 76:241.

The responses of Wenchuan aftershock sequence to the movement of the Sun and the Moon

Ma Li Zhao Shuxian Wu Pingjing

(Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085, China)

It has been found that there is a relationship between earthquakes occurrence and the movement of the Sun and the Moon, this relationship shows that the earthquake sequence responds to the periods of the movement of the Sun and the Moon. In order to find these periods objectively and comprehensively, we define a periodicity index which can describe the periodicity of earthquake sequence quantitatively. By calculating the periodicity index of different periods of Wenchuan $M \geq 5.0$ aftershock sequence and drawing periodicity index-period curves, it can be found that there are three responding periods: solar day, the quasi 27-day solar rotation period, and synodic month.

遥感变化检测技术及其在震害信息提取中的应用

李成龙 张景发

(中国地震局地壳应力研究所 北京 100085)

摘 要 总结了变化检测技术的基本流程,在阅读大量相关文献的基础上,详细介绍了最新的变化检测方法;依据震害类型的不同介绍了变化检测技术在震害遥感信息提取中的应用情况;最后对变化检测技术在震害遥感信息提取中的应用进行了总结和展望。

一、引 言

地震作为对人民生命财产有着极大危害的自然灾害之一,具有突发性强和防御难度大的特点。传统的地震灾害损失评估主要依靠人工现场调查,效率低、时效性差,无法满足应急抢险工作及时准确获取地震灾情信息的要求。利用遥感技术进行震害损失评估,具有宏观、广域和快速的特点,能在震害信息调查中发挥重要的作用。由于震害的复杂性,实际的震害评估中应用的遥感图像模式识别方法尚不成熟。通过比较地震前后的遥感图像,可以快速准确地判断震害分布及震害级别。震害遥感变化检测方法被认为是当前用来进行震害评估较有效的方法。

遥感影像变化检测是从不同时期的遥感数据中,定量地分析和确定地表变化的特征与过程(赵英时等,2003)。变化检测通常包含以下四个内容:判断是否发生了变化;确定发生变化的区域;鉴别变化的性质;评估变化的时间和空间分布模式。前两个方面是必须要解决的基本问题。

变化检测方法因其应用的广泛性,发展迅速,目前提出的变化检测方法非常多,各国学者纷纷从不同的角度进行了总结分类。最早的分类是将变化检测分为分类比较法和直接比较法两类(Singh, 1989),还有根据目标对象的分类:基于像素级的变化检测、基于特征级的变化检测和基于目标级的变化检测^①。目前最新的研究将遥感影像的变化检测方法归结为 7 类(D. Lu et al., 2004):算术运算法、变换法、分类比较法、高级模型法、GIS 集成法、视觉分析法和其他方法。这些分类方法不一定很准确,事实上,很难将一些方法归到某一类,因为有些方法中可能用到几种不同的技术。多项研究与实践证明,目前还没有哪种方法被普遍认为是最优的,由于这些方法大多是在不同的环境下基于不同的用途提出来的,各自具有不同的适用性与局限性。

^① 佃袁勇. 2005, 基于遥感影像的变化检测研究, 武汉大学硕士学位论文

二、变化检测技术流程

无论何种变化检测方法,其基本处理流程都可以归纳为以下三个方面:图像预处理,包括几何校正与图像配准、辐射校正、影像融合等;变化检测方法的选择,如直接比较法、分类后比较法等;变化检测结果精度评定,如定量统计测度、实地踏勘等。

1. 图像预处理

几何校正及影像配准、辐射校正等图像预处理对于消除不同时相影像的非变化区域的差别是必要的,可有效防止伪变化信息的产生。

绝大多数变化检测方法都要求多时相遥感影像具有一定的配准精度。Jensen 认为当影像的配准精度达到 0.5 个像素时则可以忽略相对配准误差对变化检测精度的影响(Jensen, 1996);申邵洪(2011)等撰文表明配准误差对每个波段影响不一致,并且,配准误差对高地类复杂度区域检测精度的影响更为明显,易产生更多的伪变化信息。

辐射校正是为了消除和减弱影像间因成像条件不同而造成的灰度差异对变化检测精度的影响,多数情况下采用相对辐射校正法,如直方图匹配、线性回归分析等方法,如果经过几何校正和配准后的遥感影像被置于一个单独的数据集中,被当作一景单独的影像来分类(如分类后比较法),那么在这种情况下,可以不进行辐射校正(Jensen, 1996)。

影像融合是使得处理后的遥感影像既有较高的空间分辨率,又具有多光谱影像特征,达到更好的图像增强效果。Bovolo 等(2010)分析了影像融合时的人工因素带来的误差对变化检测结果的影响程度,定性和定量比较了多种融合方法对变化检测结果的影响,对比分析了基于多光谱影像和融合后影像提取变化检测结果,指出融合质量较好的图像得出的变化检测结果不一定更好,要根据图像的不同谨慎选择融合算法。

2. 变化检测方法

下面就按照目标对象的不同,阐述目前变化检测方法的研究进展。

(1) 基于像素级变化检测。

基于像元的变化检测主要是通过对比遥感图像各波段上对应像元的辐射值来检测变化信息。这类方法中常见的有经典的图像差值法、比值法、变化向量分析法等。基于像素的分类方法得到的结果比较破碎,无法从根本上摆脱单一光谱信息的局限性。

Malpica 等(2008)利用 RX 算法来检测两个图像间的异常,然后计算差值,从而实现两个时段、多光谱、高分辨率的卫星影像的变化检测。Sasagawa 等(2008)提出了一种基于像素和 DSM 的变化检测算法,在对正射影像进行了预处理之后,将影像分为一些子区域,并对相应的子区域进行最小二乘灰度拟合,然后求出拟合后该区域的灰度与目标区域灰度的差值,以此来判断该区域是否发生变化。Tavakkoli Sabour 等(2008)通过支持向量机(SVM)进行遥感影像分类,并利用多时相 ASAR 数据的分类结果对农业活动进行变化检测。王立民等(2011)提出了一种基于 D-S 证据理论的像素级遥感图像融合检测算法,利用 D-S 证据理论组合多种变化检测算法的差值图,形成更加准确的融合差值图,在此基础上进行二值判决得到最终的变化检测结果。

(2) 基于特征级变化检测。

遥感影像的信息除了灰度信息, 还包括空间纹理结构信息, 这也是影像解译的重要标志。纹理特征是灰度的空间变化特征, 是图像中重复出现的局部模式和灰度的规则排列, 反映地物群体的空间分布状态和粗糙程度。纹理分为结构性纹理和非结构性纹理。可以通过边缘检测、特征滤波等方法提取相应信息, 涉及到的算法有小波分析、马尔可夫随机场分析、邻域统计、共生矩阵、功率谱等。

Andreas Schmitt(2009)在小波变化的二维上做了扩展, 提出了快速且稳定的曲波变化检测技术, 并在不同尺度、方向和位置上以脊状特征重建原始图像, 在曲波空间进行图像变化检测。Hachicha 等(2009)则应用 Dezert. Smarandache 理论进行图像变化检测的探索。陈忠辉等(2011)利用小波变换对原始图像进行多尺度分解, 然后利用马氏距离判决函数对不同尺度图像进行变化检测, 最后利用马尔科夫随机场将不同尺度变化检测结果进行融合。由于马尔科夫随机场融合方法充分考虑了相邻像素间的相关性和不同尺度检测结果的联系, 从而使融合结果更细致和精确。孙文邦等(2011)提出了基于新的二维模糊熵原理的多时相图像变化检测方法, 这是一种既考虑到差异图像的统计分布特性, 又结合了差异图像各个像元的空间邻域特性, 采用模糊熵作为自动分离变化区域的准则, 用非监督分类方法从差异图像中分离出变化像素区域。

(3) 面向对象变化检测。

面向对象影像分析涉及到三个方面的关键技术: 影像分割、影像对象特征定量描述和影像分类。其中, 影像分割是至关重要的一步, 直接影响着最后地物目标的分类结果和精度, 目前最为成功的面向对象影像分割技术是多尺度分割技术。它遵循异质性最小的原则把影像分割成大小不一、包含多个像素的对象, 并且每一个对象在具有光谱统计特征(如均值、亮度和标准偏差等)的同时, 还具有形状(如边界长、长宽比和形状指数等)、纹理(如灰度共生矩阵)及上下文关系等属性。其中尺度的选择很重要, 它直接决定了分类和信息提取的精度高低。

张俊等(2011)从尺度效应入手, 根据“类内同质性大, 类间异质性大”的分类原则, 提出了对象 RMAS(与邻域绝对均值差分方差比)值最大时, 对象内部的异质性最小, 对象外部的异质性最大, 此时的分割尺度为类别提取的最优分割尺度。宋杨等(2011)基于 eCognition 软件的面向对象分析思路对一组快鸟(Quickbird)影像覆盖的实验区进行了绿地利用变化的情况进行检测。张雨霁等(2011)在研究了多种变化检测方法的基础上, 提出了基于决策树的面向对象变化信息自动提取的方法过程, 并做了相关试验。

综上所述, 每种方法都有其各自的优缺点, 没有哪一种变化检测方法具有普适性, 不同的影像条件、不同的检测要求, 所需要选择的变化检测方法不同。

3. 变化检测精度评价

变化检测是遥感影像变化信息提取的一种有效手段, 也会受到各种误差因素的影响, 如传感器定标误差、成像系统误差、图像预处理过程中产生的误差以及变化检测算法本身带来的误差(如分类误差等), 这些误差都会累积到最后的检测变化结果中。因而精度评价可以告知用户变化检测结果的可信度, 有利于进行科学研究和进行决策。

王立民等(2011)通过绘制检出率与虚警率性能(ROC)曲线来比较变化检测算法的优

劣。孙文邦等(2011)采用总体检测错误率、变化区域检测错误率和 Jaccard 系数定量分析变化检测方法性能。陈宇等(2011)将变化检测结果当作分类影像,包括变化和不变化两个类别,在原图像上通过选择变化和不变化的测试样本,构造混淆矩阵,并计算总体精度、kappa 系数、漏检率和虚检率,来对不同方法的变化检测结果精度进行比较。

总体上而言,目前变化检测的精度评估主要是基于像素级的,主要源于遥感影像中的精度评估技术,如混淆矩阵、ROC 曲线等,误差矩阵是最常用最成熟的精度评估方法;对长时间序列影像变化检测的精度评估需要加强研究,特别是对缺乏变化真值情况下的精度评估技术有待从新的角度考虑;缺乏特征级的评估方法,面向对象变化检测法与其他变化检测方法的精度评估研究几乎是空白,有待深入研究(周启明,2011)。

三、震害信息提取中的变化检测

地震具有突发性和不可预测性,目前遥感技术应用于震害评估主要集中于建筑物及构筑物破坏调查、生命线工程破坏调查以及滑坡、泥石流、堰塞湖等次生灾害调查。在震害信息提取的过程中,不同震害的特征分析是基础。近年来,国内外相关学者的一系列研究,极大推动了遥感震害信息提取相关技术的进步。变化检测技术作为遥感震害评估的有力工具,也得到了很好的发展。如何将变化检测技术与震害信息提取有效结合,发展适应于震害信息特点的变化检测新方法、新思路,是摆在地震研究领域遥感科技工作者面前的一大课题。

1. 建筑物及构筑物

构筑物是指房屋以外的工程建筑,人们一般不在其中进行生产生活活动,如围墙、水井、水坝、水塔、烟囱等。根据震后建筑物影像的整体和细部影像特征,特别是房屋整体与屋面结构等影像的几何信息、色调信息等划分,考虑到多种因素的影响,一般将高分辨率震害影像上建筑物的震害分为毁坏和基本完好两大类^①。

张景发等(2002)以张北地震为例,经精确配准,利用定性显示和定量计算的方法,对地震前后张北地震区的 SAR 图像进行了变化检测处理,确定了村庄建筑物的地震破坏及震害程度,为利用遥感图像检测建筑物的地震破坏进行了有益的探索。窦爱霞等(2003)探讨了利用 SAR 图像和变化检测技术在震害评估中的作用,提出采用单个相关系数空间分布检测地震破坏区域和利用多个相关系数检测建筑物破坏程度的变化检测方法,并以张北地震前后 SAR 图像进行实验,得到满意效果^②。Andre 等(2003)对高分辨率影像通过比较提取出的建筑物轮廓进行变化检测。Turker 等(2003)融合多光谱与全色影像,通过针对亮度的差值法获取变化的区域。Vander Sande 等(2008)提出了一种借助简单三维建筑物模型来改进二维影像变化检测的方法,将建筑物的变化检测率提高到了 72%。

① 张磊. 2008, 遥感震害快速评估关键技术研究, 地壳应力研究所硕士学位论文。

② 窦爱霞. 2003, 震害遥感图像的变化检测技术研究, 山东科技大学硕士学位论文。

2. 生命线工程

道路、桥梁等交通线是抗震救灾的生命线。但是由于地震引起的滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害会造成多处公路、桥梁垮塌和阻断,同时滑坡体堵塞河道形成堰塞湖造成道路淹没,使得道路疏通难度很大,救灾车辆、人员和医疗、生活物资迟迟不能进入,严重影响了抗震救灾的进度^①。

任玉环等(2009)以汶川地震的重灾区北川县为研究对象,利用震前震后的高分辨率遥感影像,通过面向对象的图像分类方法进行道路识别,并通过震前道路识别结果与震后影像的叠加和震前震后道路识别结果的变化检测提取出损毁的路段。

3. 次生灾害

地震引发大量的次生灾害(崔鹏等,2008),主要为滚石、崩塌、滑坡、堰塞湖和泥石流,其中,滚石、崩塌、滑坡成为阻断交通的主要灾害。堰塞湖不仅对上游造成淹没,而且对下游形成巨大的洪水威胁。地震诱发的山地灾害形成灾害链,即崩塌、滑坡→(泥石流→)堰塞湖→溃决洪水或泥石流。次生灾害沿破裂带及两侧密集分布,并随距破裂带的距离增大而急剧减少。震后次生灾害将进入活跃期,崩塌滑坡的活跃期将持续5~10年,泥石流的活跃期将持续10~20年。

范建容等(2008)以四川省北川县唐家山地区为研究区,利用2006年11月10日的SPOT卫星影像数据,依据NDVI和地形信息进行耕地识别,辅以少量的人工修正,快速获取灾前耕地分布信息。应用2008年05月14日的FORMOSAT-II卫星影像数据和2008年06月04日的ALOS卫星影像数据,采用人机交互解译快速获取地震诱发的崩塌滑坡、堰塞湖等次生灾害信息。灾前耕地分布信息叠加地震次生灾害数据及影像,进行变化检测,实现耕地损毁的快速评估。

目前,变化检测技术应用于遥感震害信息提取的相关研究较少且不够深入,实际应用中尚无一套比较成熟的方法流程,大多数研究与影像和试验条件紧密相关,普适性较差,与应急工作的时效性要求还有一定差距,发展和改进的空间很大。

四、讨论与结论

震害信息有其自身的特点,如何将变化检测技术更好地应用于遥感震害信息的提取,是亟待解决的问题,需要在充分理解震害形成机制和遥感影像特点的基础上有所创新,而不仅仅是将现有的变化检测技术生搬硬套。

本文认为可以在以下几个方面进行努力:

(1)着眼于变化检测所涉及到的各个技术细节,提高图像配准的精度和效率,吸收模式识别理论和数据挖掘技术精华的智能化遥感影像变化检测方法,提高变化检测处理的自动化程度;

^① 网易新闻. 2008, 理县至汶川道路由于山体滑坡再次封闭. [EB/OL]. <http://news.163.com/08/0516/12/4CZJPHIMOOO1124J.html>.