

新疆中强地震前 ECRS 方法的异常研究

唐兰兰¹, 王海涛^{1,2}, 王琼¹

(1. 新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000)

摘要:基于多种地震学参数的地震对应相关谱(ECRS)方法在新疆地区的地震预测中已得到一定程度的应用。为了进一步检验该方法的效能,本文根据其定义和识别方法研制了 ECRS1.0 分析软件,并应用于实际震例中。结果显示,利用该分析软件可以充分提取多种地震学参数的综合前兆异常信息;新疆大部分中强震前半年至一年半震源区及附近区域开始出现高值异常集中区域,并随着地震的临近逐渐向震中集中扩展,在震后半年至两年逐渐消散或弱化。

关键词:地震对应相关谱(ECRS); 综合前兆异常; MATLAB; 分析软件; 地震预测

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2011)02-0159-07

Research on Anomaly of ECRS Method before Moderate-strong Earthquakes in Xinjiang Region

TANG Lan-lan¹, WANG Hai-tao^{1,2}, WANG Qiong¹

(1. Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China;

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The earthquake corresponding relevancy spectrum(ECRS) method which based on multiple seismic parameters has been used in earthquake prediction in Xinjiang region for a certain extent in recent years. In order to test the efficiency of ECRS method, a software ECRS1.0 for analyzed anomaly of ECRS is developed in this paper, according to the defining and anomaly identifying method of ECRS, and is applied in real earthquake cases. The result shows that the comprehensive precursor anomaly information for many seismic parameters can be extracted by this method adequately. In Xinjiang region, the high value area of anomaly appears before most moderate-strong earthquakes around epicentre within half-year to 1.5 year, spreads and strengthens to epicentre area gradually before event coming, and disappears or turns to low value after event in half-year to two years.

Key words: Earthquake corresponding relevancy spectrum(ECRS); Comprehensive precursor anomaly; MATLAB; Analysis software; Earthquake prediction

0 引言

地震学参数是地震预报研究中普遍使用的分析方法。各种地震学参数从不同侧面揭示了地震孕育过程的某些规律,并在较大地震前可能出现前兆异常。以往工作中大多是将这些单项异常进行经验性

的、定性的预报分析,很多研究人员也尝试对单项方法异常特征进行量化描述。如王海涛等^[1]利用分布概率法对地下水氡观测曲线进行概率化预处理,进而进行综合信息熵的计算;薄万举等^[2-3]提出多点

收稿日期:2010-03-19

基金项目:国家青年自然科学基金课题(41074042);国家“十一五”科技支撑项目子专题(2006BAC01B 02-01-05);2009年度震情跟踪合同制定向工作任务(2009010302)

作者简介:唐兰兰(1981-),女(汉族),四川蓬溪人,研实员,主要从事数字地震学及综合地震预报工作。

组斜率法和合成信息流方法,将形变观测资料转换成“标准化信息曲线”;郑熙铭等^[4]利用模糊数学方法将前兆观测资料时间进程变化转化为异常动态从属函数;杜学彬等^[5]利用月速率(斜率)法对地电阻率资料进行归一化处理,生成新的无量纲数据曲线。

通过将可能与孕震不同阶段物理过程相关联的各种单项方法在不同数学或物理模型上组合起来,有可能可以较为客观的提取出地震孕育的综合异常特征,更有效地进行地震预测。王海涛等^[6]提出了地震对应概率谱和累计滑动平均概率方法,并结合实际算例,分析了北天山地区地震学参数 η 值不同考察时长的前兆异常时效属性,并提出利用多种地震学参数进行基于地震对应相关谱的综合异常研究的方法,即是一种新的探索尝试。王琼等^[7-8]利用该方法进一步研究了新疆天山地区中强震前多种地震学参数综合异常时间特征。在该方法深入研究过程中,王海涛等于2009年将地震对应概率谱重新命名为地震对应相关谱(Earthquake Corresponding Relevancy Spectrum, (ECRS))^[9]方法。

目前常用的地震学参数预报方法有20多种^[10-11],主要是利用地震目录上的信息来描述区域地震活动性的统计特征,包括时段区间、空间范围、震级区间三大要素整体的分布特征。不同区域的震前活动性参数表现也各不相同。本文采用不同的统计窗长和滑动步长进行时空扫描计算,并参考文献[12]中高国英、曲延军等对新疆天山地区地震学参数短期前兆异常特征的统计分析结果,最终选取了适于短期预报且物理意义明确并相对独立的7类活动性参数进行研究,包括描述地震活动的震级和频度关系的 b 值、 η 值、缺震;描述地震时空状态的空区参数 σ 值;描述地震活动本身强度变化的参数频度 N 值、强度因子 M_i 值;环境因子调制参数 R_m 值。在王海涛等^[6,9]工作和理论的基础上,本研究利用上述7种参数进一步分析识别新疆中强地震前的地震学参数综合异常空间演化特征。

1 ECRS方法

(1) 值域谱计算与分析

首先由MAPSIS软件全时空扫描程序得到地震学参数的逐月空间扫描格点文件,使用本文作者在MATLAB平台上研制开发的ECRS1.0软件,将各参数的逐月空间格点数据文件转换为扫描空间内所有格点相对应的参数值时间序列文件,时间序列文件的个数即是任一空间格点文件中行与列的乘

积。计算每个参数值时间序列文件的最大值 $x_{\max}$ 和最小值 $x_{\min}$,从而得到该序列的均值 $\bar{x}(i=1,2,\dots,n)$ 和标准差 σ 。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)} \quad (2)$$

在均值和标准差计算的基础上,对值域分布区间按一定规则进行定义,统计观测值序列分布在相应区间的频次,构建值域谱曲线。

(2) 地震对应相关谱

通过上述值域谱的分析与计算,进一步计算出不同研究考察时段的分值域地震对应相关谱。采用地震对应相关谱可以分析原始参数值序列基本前兆异常特征,判定不同值域数据的异常信度属性,得到各参数值序列不同值域的地震对应相关谱 p_i 。

(3) 滑动平均相关度

在地震对应相关谱计算的基础上,将各值域的地震对应相关谱 p_i 替换相应值域内的参数值,每一个地震对应相关谱值仍然保留被替换参数的时间属性,再将值域内的地震对应谱值按照时间的先后顺序重新组合成一个新的序列,即相关谱时间序列。再根据不同考察时段 t 的长度(单位:月),选择多点累加平均、逐点滑动计算方法,最后得到不同地震学参数的滑动平均相关度序列 $\bar{P}_{ij}$ 。

(4) 多参数滑动极值平均相关度

不同参数在中强地震前表现出不同的前兆异常形态,使得异常的起始时间、峰值、结束时间存在差异。为了突出中强地震前中短期前兆异常过程,在单项参数异常识别的基础上,逐点求解不同参数滑动平均相关度 $\bar{P}_{ij}$ 序列的多点(本文选取6点作为滑动窗长)滑动极值相关度序列 M_{ij} ,将不同参数的滑动极值相关度序列 M_{ij} 求算术平均,得到多参数滑动极值平均相关度 P_c 。再依据多参数滑动极值平均相关度的时间和坐标属性,将其投影到相应的空间位置上,就得到了多参数滑动极值平均相关度空间格点数据。

以上各步骤的具体计算公式及方法参见文献[6]~[9]。

2 ECRS方法分析软件

基于王海涛等^[6]提出的地震对应相关谱方法,在Windows平台上利用MATLAB2007语言开发了地震对应相关谱分析软件——ECRS1.0(图

1)。该软件具有以下特点:

(1) 格式识别与文件批量读取功能。ECRS1.0 软件能够识别并批量读取由 MAPSIS 软件地震学参数空间扫描功能产出的格点数据文件,软件根据数据文件头信息中的经纬度和行列信息及每个文件名中包含的时间信息,将数据读入后赋值给相同维数的三维矩阵变量。

(2) 参数值空格点文件转换为时间序列文件。为了构建值域谱曲线,需要将空格点文件转换为时间序列文件。每个空格点文件中的所有格点数据都具有一个相同的时间属性和不同的坐标属性,利用其头文件信息中的经纬度信息将每一个格点数据赋予对应的坐标属性,再从一系列空格点文件中将具有相同坐标属性的参数值抽取出来,然后根据时间属性的先后顺序重新组成新的时间序列文件。时间序列文件的个数是任一空格点文件中行与列的乘积。

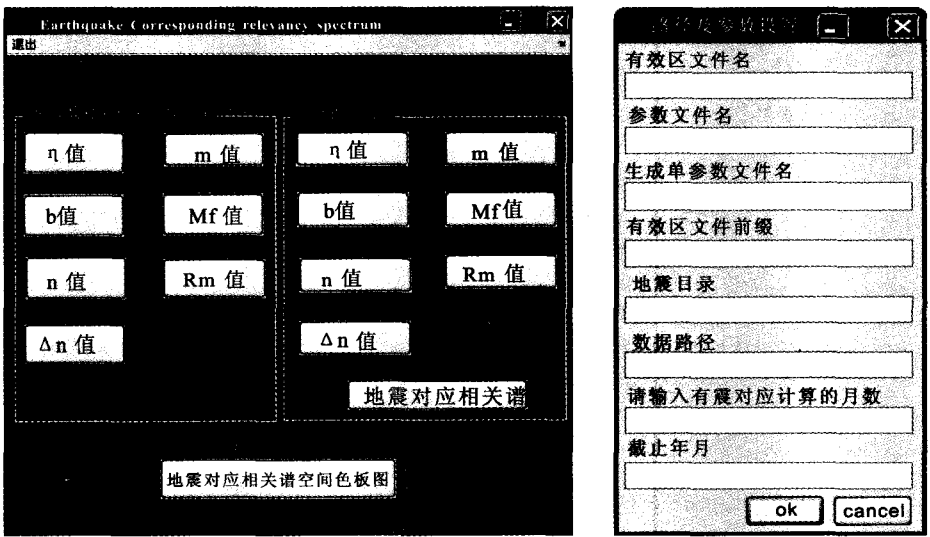


图 1 ECRS 程序主界面及参数配置界面

Fig. 1 The interface of software and parameter configuration of ECRS.

(3) 值域谱曲线的正态分布检验。我们在得到值域谱曲线后发现少数曲线形态与标准正态分布曲线完全不符,说明构建这条曲线的时间序列值不符合正态分布,为了保证后续的计算具有统计学意义,需将这样的数据在计算过程中剔除。结合 MATLAB 标准的正态分布检验函数,在程序中设计了一种对称度检验方法:根据正态分布曲线关于中心对称的特征首先计算值域谱曲线的中间点与曲线第一个点(最小值区间频次)连线的斜率及中心点与倒数第二个点连线的斜率(由于 m 值总是偶数);之后将两个斜率通过反正切计算得到两条直线的方位角,若是符合正态分布,则两个方位角应该一个正值一个负值,并且两个方位角的绝对值要非常接近,程序中规定绝对值之差小于 4° 且能通过 matlab 的 Lilliefors 检验方法(该检验方法适用于小样本的正态分布检验)lillietest 函数的检验,即被认为是符合正态分布,能够继续进行下一步骤的计算,不能通过检验的序列赋值为 0。

(4) 地震对应相关谱时间序列的空间属性。若

要得到地震对应相关谱的空间格点数据文件,就需要利用每一个相关谱值的时间和空间属性将地震对应相关谱重新投影到空间坐标上去,构建新的地震对应相关谱空格点文件。每个地震对应相关谱时间序列对应空间的一个格点,程序通过将这些时间序列文件的尾行写入对应格点的经纬度数据的方式,给每个数据文件赋予了空间坐标属性,再利用该序列文件的时间属性,即可实现地震对应相关谱的空间映射。

(5) 地震对应相关谱不同区域本底值的扣除。从新疆历史地震活动情况来看,南、北天山地震活动性存在较大差异,比如乌恰—喀什交汇区中强震的发震强度和频度明显高于北天山地区,所以地震对应相关谱的空间分布值对于不同区域存在较大差异,只有扣除不同区域的本底值才能将其放在同一个平台上分析整个新疆地区有无异常区存在。如图 2 所示,依据地质构造及地震活动性特征将新疆中强地震活动较为频繁的地区大致划分了几个区域,根据经验值将各个区域分别扣除本底值(图上箭头

指示数值)。一些区域(如阿勒泰地震带、阿尔金、东天山)台站分布稀疏,使得历史地震(特别是3级以下小震)目录不全,这些区域空间谱值相对较低,故未扣除本底值,其结果仅做为参考。程序通过预先得到各个分区的边界信息(经度和纬度),将边界内的空间谱值减去相应的本底值。

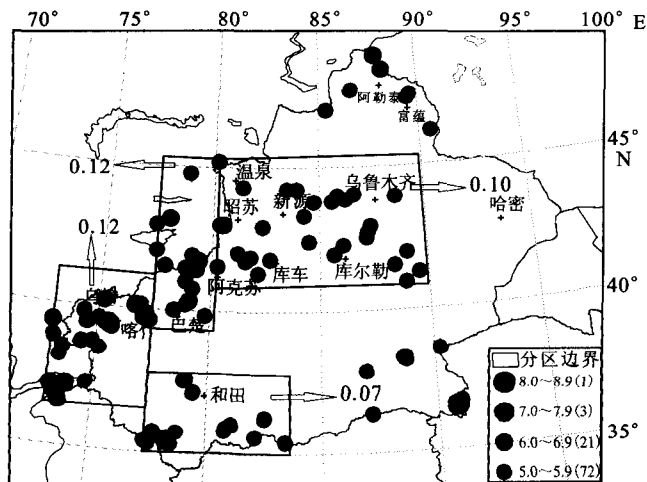


图2 研究区目标地震震中分布图(箭头指示数字为各个区域扣除的背景值)

Fig.2 The distribution of target earthquake in the research region (it is background value deducted from various region that the arrow point at number).

(6) 空间色板图批量绘制。为了更直观的验证该方法的映震效能,需要将研究时段内逐月的地震对应相关谱空间格点文件绘制空间色板图。本软件利用 MATLAB 自带的等高线绘制函数,同时建立了新疆的省界及新疆地名数据文件,使用循环的嵌套实现了图形的批量绘制及输出与存储。文件名以每张图对应的年月来命名;使用统一的图例;标注研究区内一个月后发生的若干历史中强地震,同时标注该图对应的年月。

3 ECRS 方法的震例检验

3.1 资料和参数选取

选取 $35^{\circ}\sim 49^{\circ}\text{N}$, $73^{\circ}\sim 96^{\circ}\text{E}$ 范围作为研究区域;考虑到地震目录中地震数量的完备性,选取研究区内 1978 年 1 月—2009 年 11 月的研究时段内 $M_{\text{s}}2$ 以上地震目录,并对所选取的地震目录剔除了余震、震群。对选定的 7 项指标以 1 年为时间窗长,1 个月为时间步长,进行 $2^{\circ}\times 2^{\circ}$ 的全时空扫描,从而得到研究区研究时段内选取的 7 种地震学参数的逐月空间格点数据文件。

研究中为分析不同时效、不同窗长的前兆异常

时空演化特征,分别选取了 3 个月、6 个月和 12 个月作为研究考察时长,以及 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 、 $2^{\circ}\times 2^{\circ}$ 作为研究考察窗长,通过调整不同时长、窗长选定合理时间和空间尺度。限于篇幅,下文以 $2^{\circ}\times 2^{\circ}$ 空间窗长, 0.2° 经纬度滑动步长,12 个月考察时长,1 个月时间步长的计算结果进行分析讨论。除喀什—乌恰交汇区预测目标地震定为该区域内 5.5 级以上地震,其他地区预测目标地震均定为 5 级以上地震。

利用 ECRS1.0 软件,基于 1978 年 12 月—2007 年 12 月新疆地区的 7 个地震学参数的逐月空间格点数据文件,计算得到 7 个参数的地震对应相关谱数据,将此作为单项参数外推预测学习库数据。将 2008 年 1 月—2009 年 11 月的 7 个地震学参数的逐月空间格点数据文件进行外推预测计算,利用学习库的地震对应相关谱进行对比分析,将参数值替换为相应值域区间的地震对应谱值。为了检验该方法对 2008 年—2009 年发生的中强震的真实预测效果,避免预测实践中使用目标地震发生以后的资料而逆向影响震前预测,因此将 2008 年 1 月—2009 年 11 月的实际资料与地震对应相关谱学习库进行对比分析后赋值。在上述基础上,将 1978 年 12 月—2007 年 12 月的空间逐月地震相关谱数据进行滑动平均概率计算和多点滑动极值平均概率计算。利用得到的最终数据可进行历史中强震的回溯性震例研究及地震危险性外推式预测。考虑文章篇幅限制,本文选取 1982—1986 年这一时段做地震对应相关谱空间特征回溯性震例分析。

3.2 回溯性地震对应相关谱空间异常特征分析

本文定义有震报准率为震前有异常的目标地震次数与目标地震总次数之比。

选取研究区内 1982—2007 年 72 次 5 级以上地震进行回顾性目标地震震例研究,通过对比分析逐月地震对应相关谱空间演化图像,对地震前地震对应相关谱空间异常特征进行了统计。统计结果表明,72 次地震中有 62 次在震前半年到 1 年半的时间开始出现较为明显的高值异常集中过程,其中 39 次地震在震后半年到 2 年的时间高值区域逐渐消散或弱化,其余 23 次在高值异常集中区或其附近发震后高值区域没有消散或者弱化,是由于在其后 1 个月~1 年的时间里震源区附近再次有中强震发生;其余 10 次地震前没有出现高值异常集中过程,这 10 次地震主要位于塔里木盆地、西昆仑、阿勒泰等地区,其原因可能是因为这些地区台站分布稀疏导致历史地震目录记录不全造成。统计结果显示,在

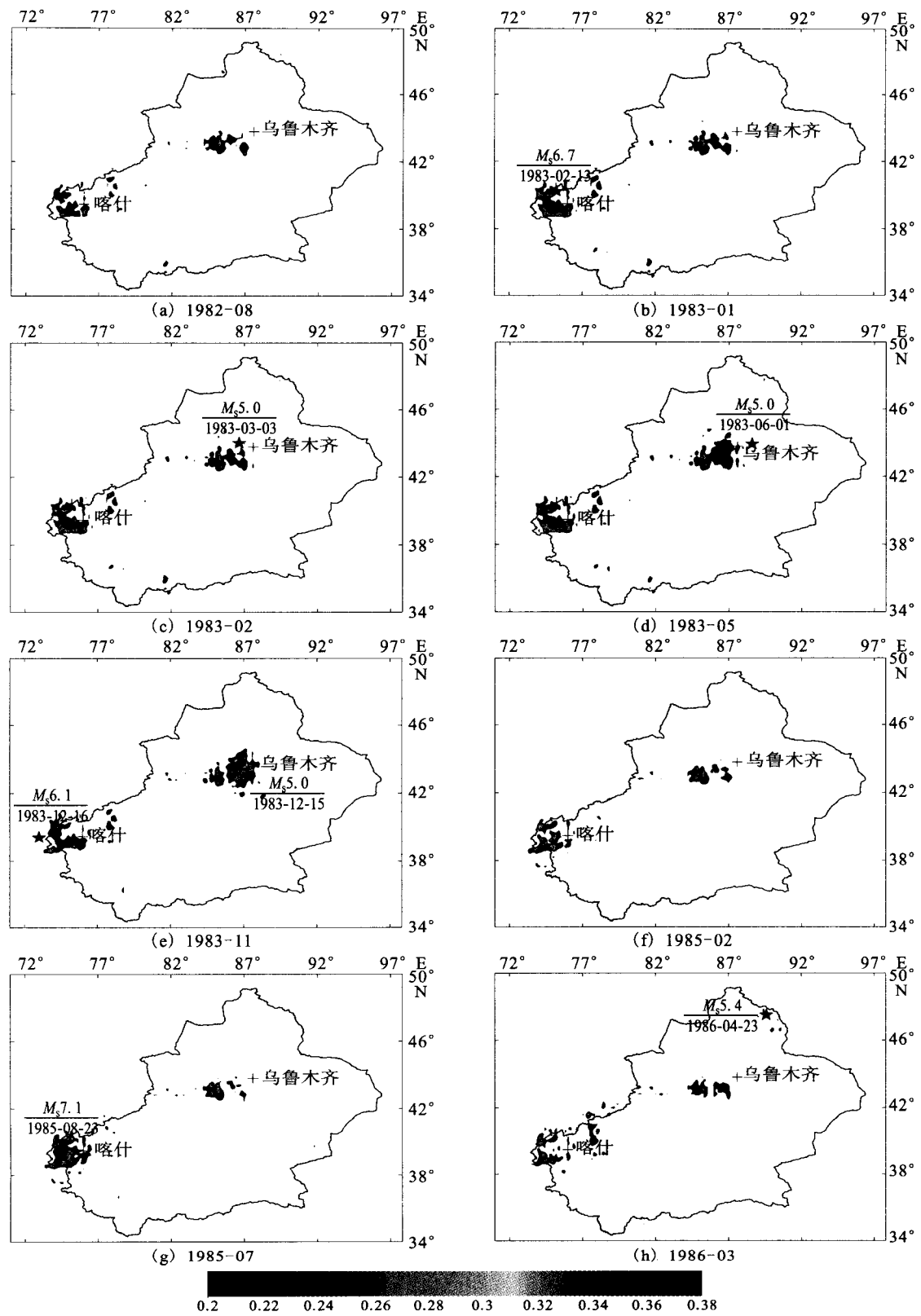


图 3 1982—1986 年新疆地区目标地震前多参数滑动极值相关谱空间演化图像
Fig. 3 The space image evolvement of multi-parameter sliding extreme-value relevancy spectrum before target earthquake in Xinjiang region from 1982 to 1986.

1982—2007年这个统计时段内的有震报准率为83%,地震对应情况较好,漏报率较低。

选取1982年—1986年新疆地区目标地震前地震对应相关谱空间演化图像进行分析。图3显示了研究区内7次目标地震前的空间图像,可以明显的看到震前异常增强、震后异常弱化的演化趋势。图3(a)显示,1982年8月在天山中段及喀什—乌恰交汇区分别出现小片异常集中区域;图3(b)显示,1983年1月上述的两个异常区域有集中扩展的趋势,并在喀什—乌恰交汇区的高值集中区的边缘发生了2月13日的乌恰6.7级地震;图3(c)显示,1983年2月天山中段的高值集中区继续增强扩展,并在其边缘附近发生了3月3日的呼图壁5.0级地震;图3(d)和图3(e)显示,1983年3月的呼图壁5.0级地震后,高值异常集中区域并未逐渐消散而是仍在扩展,9个月内在高值区的边缘相继发生了6月1日的阜康5.0级地震和12月15日的乌鲁木齐5.0级地震。从这两张图同时还可以看出1983年2月13日的乌恰6.7级地震的高值集中区东部边缘开始弱化而西部边缘又有所增强,乌恰6.7级地震之后10个月又在西部边境地区发生了1983年12月16日的塔吉克斯坦6.1级地震;图3(f)和图3(g)显示,天山中段的高值区域在逐渐缩小弱化,而在1985年2—7月喀什—乌恰交汇区又出现新的异常高值区在向东逐渐增强扩展,并在其东部边缘发生了8月23日的疏附7.1级地震;图3(h)显示,1986年3月喀什—乌恰交汇区和天山中段的高值集中区域已缩小弱化,这张图上能够看出在1986年4月23日富蕴5.4级地震前没有出现异常高值集中区域。

图3中的7次目标地震前有5次在震前震中附近出现较为明显的高值异常集中区,它们较为一致的空间异常演化特征是:震前高值区域在震中附近逐渐增强扩展,震后高值区域逐渐缩小消散或转为低值。

4 认识与讨论

本文应用基于地震对应相关谱方法编制的ECRS1.0软件,回溯了新疆地区中强震前的多种地震学参数的综合空间异常演化特征,并对这些综合异常特征进行了识别和分析,通过上述分析得到以下几点认识:

(1) 中强地震前1年,震区及其周围地区滑动极值平均概率普遍出现高值异常区,且高值异常区

呈现出由外围相对分散演变为向震中区集中扩大的时空变化过程。

(2) 中强地震多数发生在地震对应相关谱高值异常区内部或其边缘。

(3) 中强地震发生后1年左右,地震对应相关谱高值异常集中区趋于分散、弱化或消失。

(4) 尽管基于地震对应相关谱的多参数滑动极值平均相关度空间异常特征在新疆地区进行的回顾性震例研究的预测效能较高,但由于是震后总结,故异常阈值的判定一定程度受人为调整的影响,而且不同区域发震概率的本底值存在较大差异,所以几个区域选取不同的阈值作为经验阈值其合理性仍待检验。

(5) 研究区多参数滑动极值地震对应相关谱方法的异常对应的信度较高,但仍存在漏报现象。考虑到不同参数预测效能的差异,为提高异常提取的效能,下一步工作将尝试在对不同单项参数的预测效能评估的基础上,分别赋予各参数不同的权,依此计算多参数滑动极值平均概率。

(6) 尽管ECRS方法的研究目前还存在着一定问题,但此项研究对于充分提取地震学参数所包含综合前兆异常信息具有积极的意义。因此,期望通过地震相关谱分析ECRS软件的及时研制能够有力推动更深入地开展这方面的研究。目前ECRS分析软件在已开展的地震预测研究中已取得了一些初步的研究成果,但还需要处理更多的不同地区的地震学参数资料,获得更广泛的处理应用结果,实现地震对应相关谱分析软件的进一步检验和完善。

【参考文献】

- [1] 王海涛,朱令人,杨马陵,等.地震前兆观测数据的信息熵分析[J].地震,1991,11(5):13-18.
- [2] 薄万举,王彦.单项资料异常变化信息提取的一种新方法[J].大地形变测量,1993,9(3):17-20.
- [3] 薄万举,吴翼麟.异常信息流的标准化方法及其应用[J].地壳形变与地震,1993,13(2):9-15.
- [4] 郑熙铭,冯德益.前兆值异常的时空演化与地震活动[J].地壳形变与地震,1993,13(2):80-87.
- [5] 杜学彬,阮爱国,范世宏,等.强震近震中区地电阻率变化速率的各向异性[J].地震学报,2001,23(3):289-297.
- [6] 王海涛,王琼.基于地震对应概率谱分析的前兆异常识别研究[J].地震研究,2008,31(4):330-334.
- [7] 王琼,王海涛,唐兰兰.基于地震对应概率谱的多参数综合异常研究[J].中国地震,2009,25(3):294-302.
- [8] 王琼,王海涛,唐兰兰,等.基于地震对应概率谱的多参数综合异常空间特征研究[J].地震,2010,30(1):98-107.

[9] Haitao Wang, Qiong Wang, Lanlan Tang. Comprehensive precursor anomaly research based on earthquake corresponding relevancy spectrum[J]. Earthq Sci, 2009, 22(6): 675-681.

[10] 高立新,曹井泉.强震前震中区附近地震学参数中期震兆标志研究[J].西北地震学报,2004,26(4):347-352.

[11] 中国地震局监测预报司.强地震中短期预报方法及其效能研究[M].北京:地震出版社,2002.

[12] 中国地震局监测预报司.西北地区强地震短期前兆特征和预测方法研究[M].北京:地震出版社,2006.

(上接 154 页)

[参考文献]

[1] 许伟林,于漂罗.西宁市地热资源开发利用前景分析[A]//中国地热资源开发与保护[G].北京:地质出版社,2007:147-151.

[2] 张丰雄,刘淑英,严维德.西宁地区地热资源分布规律探讨[J].资源与环境,2006,21:138-139.

[3] 石维栋,张森琦,周金元.西宁盆地北西缘地下热水分布特征[J].中国地质,2006,33(5):113-1136.

[4] 张森琦,石维栋,周金元.青海西宁市城南新区杜家庄地热田地下水的地球化学特征[J].现代地质,2007,21(1):164-169.

[5] 李惠婷,张森琦,白嘉启.西宁药水沟地热田水化学特征及热水起源初探[J].地质学报,2007,81(9):1131-1136.

[6] 张森琦,李长辉,许伟林.西宁盆地热储构造概念模型的建立[J].地质通报,2008,27(1):126-136.

[7] 田勤俭,李智敏.西宁市活断裂地震构造模型初步研究[J].地震地质,2007,29(2):311-317.

[8] 胡圣标,何丽娟,汪集旸.中国大陆区大地热流数据汇编(第三版)[J].地球物理学报,2001,44(3):611-625.

[9] 汪集旸.中低温地热系统[M].北京:科学出版社.1990:206-210.

[10] 熊亮萍,汪集旸,庞忠和.漳州热田的对流热流和传导热流的研究[J].地球物理学报,1990,33(6):702-711.

[11] 汪洋,汪集旸,邓晋福,等.中国大陆主要地质构造单元岩石圈地热特征[J].地球学报,2001,22(1):17-22.