

信息量直接算法在甘肃—宁夏—青海地区前兆标志体系研究中的应用^{*}

王振亚 钱家栋 郭大庆
李佐唐 孙景芳

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 本文提出了异常前兆信息量的直接算法, 实现了各种观测资料前兆异常的无量纲前兆信息量转换。用该方法对甘、宁、青地区5种观测手段共92个测项的5日均值一阶差分相关异常进行了前兆信息量计算。通过24次5级以上相关地震的回顾性分析研究, 求得了92个测项的有效单位异常平均信息量, 为前兆标志体系的进一步研究打下了良好的基础。又通过7次7级以上相关地震前兆信息量变化特征的统计, 给出了一组预报地震三要素参考指标。

主题词: 前兆信息 甘肃—宁夏—青海地区 相关地震 预报指标

1 研究思路

目前地震预报尚处于探索阶段, 还没有发现与地震的发生有必然内在联系的前兆指标。从现有的各类观测资料中, 尽最大努力也只能提取出若干个异常。我们假定在这些异常当中包含着或多或少的地震前兆信息, 这是开展预报研究的基础。

假定某一台站某一测项观测资料出现了异常, 采用什么方法判定它包含不包含前兆信息, 包含多少信息, 以及它具有多大的预报意义呢? 本课题研究就是沿着这样一个思路展开的。

实际上大多数台项的观测资料, 不管采用什么方法进行处理, 得到的异常往往不是一个, 而是多个。按着一定的相关判定标准, 有的异常可以合理地与某次地震对应, 有的异常则很难与地震挂钩。由此引出了一个指标, 即异常对应地震的概率, 它等于研究时段内有震异常个数与异常总数之比, 该指标很容易求得。

接下来的问题是, 即便同是有震异常, 它们所包含的前兆信息量是不同的, 有的多些, 有的少些, 如何定量地描述它们, 是一个难度较大的问题。做为初步探索, 我们在本工作中提出前兆信息量直接算法。试图用一个简单的数学模型来实现前兆信息的定量计算, 在提出该数学模型时, 考虑了下述原则: (1) 简单易懂, 概念清楚, 输入信息都应当是有关的和必要的。(2) 鲁棒性(Robustness)模型不应当产生荒谬的结果。它所产生的结果应在与假设相适应的范围内变化。(3) 完整性, 所有主要的现象都应当正确地在模型中得到反映。

^{*} 国家地震局“八五”攻关项目(85-04-02-04)

根据对以往震例中异常对应地震的概率和信息计算值统计分析,力争求出多手段综合预报指标。

2 方法原理

本报告提出了一种无量纲前兆信息量(S)直接算法,其数学模型如下:

$$S=f(T \cdot M \cdot L/t \cdot R) \quad (1)$$

式中 T 为异常持续时间;M 为该异常所对应地震的震级;L 为资料长度;t 为异常出现至发生地震的间隔时间;R 为所对应地震的震中距。该公式的物理意义如下:

- (1)异常持续时间愈长,则所包含的前兆信息量愈大。
- (2)相关地震震级愈大,产生的前兆信息量愈大。
- (3)震中距愈大,则一般来说前兆信息量愈小。
- (4)从短临前兆意义来考虑,显然异常出现至地震发生的时间间隔愈长,则短临前兆信息量愈小。
- (5)从统计意义来说,观测时间愈长,数据样本量愈大,则我们对数据规律的认识愈符合实际,所提取出的异常信度愈高,所包含的前兆信息量也应愈大。

综上所述,只要前兆性异常确定下来之后,就可以用(1)式计算求出前兆信息量,由于公式中只涉及到异常本身的一些参数,这些参数对各种不同观测手段来说基本都是一样的,都具有相同的意义,使用的单位也都是一样的,经过适当的数学处理就可将各种不同前兆观测资料都转换成具有同等意义的无量纲前兆信息量,在此基础上再进行短临前兆标志体系的研究。

显然,使用公式(1)求算 S 的先决条件是要有异常样本存在。而异常的提取方法有许多种,如何确定出一个最佳的异常提取方法本身就是一个工作量和难度都很大的课题,本文在筛选的基础上初步确定用 5 日均值一阶差分方法来提取异常,该方法的优点是,用 5 日均值可平滑除掉个别日值出现的偶然跳动,从现有的前兆异常机制来分析,个别日值单点突跳信度是比较低的,而 5 日均值差分的一个异常实际上反映出了 10 天的数据变化速率,信度显然是较高的,有可能包含一定的地震前兆信息。

3 研究内容及结果

本研究涉及到甘肃、宁夏、青海三省(区)的水氡、地电、应力、形变、水位 5 种手段共计 110 个测项。工作程序为:首先对观测资料进行预处理,然后求 5 日均值一阶差分值,以平均值加减 3 倍均方差作为正常波动范围,超出者为异常。对提取的前兆相关异常逐一用公式(1)计算求出前兆信息量,通过震例的回顾性分析研究求出各手段的前兆信息量在相关 5 级以上地震发生前的变化,在此基础上进行多手段多台项的前兆标志体系的研究。

在提取异常样本时,首先要确定相关地震,参照实用化攻关成果及该区台站的分布实况,我们的选取标准是: $5.0 \leq M_s < 6.0$,前兆异常显示范围 R 取 300 km; $6.0 \leq M_s < 7.0$,R 取 350 km; $M_s \geq 7.0$,R 取 400 km。本研究涉及到 27 个相关地震。

从异常开始出现算起,400 天内如果在控制范围内发生相关 5 级以上地震,才认为该异常有可能是前兆异常。

在进行研究时,除用公式(1)计算出每组异常的信息量而外,还要求出单位异常信息量 S_0 、单位异常平均信息量 $\bar{S}_0$ 、有效单位异常信息量 S_{00} 以及有效单位异常平均信息量 $\bar{S}_{00}$,它们的含义如下:

单位异常信息量 S_0 —(1)式的计算结果 S 除以相关异常个数。

单位异常平均信息量 $\bar{S}_0$ —该测项在研究时间范围内所有单位异常的平均值。

上述两个值分别乘以异常对应地震概率 P 就可得到有效单位异常信息量 S_{00} 和有效单位异常平均信息量 $\bar{S}_{00}$ 。

地震对应率 P —与地震相关的异常数除以异常总数。

因研究的目的是探索中强震发生前各有关无量纲前兆信息量的变化规律,为预报服务,所以将有效单位异常平均信息量作为重点,此量更具有普遍的预测意义,实用时还需求出总的平均信息量。

下面以1990年10月20日天祝—景泰6.2级地震为例来说明研究的内容。地电观测手段在此次地震之前有4个台站,11个测项,22组异常符合地震相关异常的要求,前兆信息量计算结果见表1。同理可分别求出水氡、应力、形变、水动态各手段在此次地震前的异常前兆信息量统计结果。

将上述5种手段的前兆信息量按离散式和累积式两种方式进行统计得到图1和图2。离散图主要用来研究最大信息量的时间分布,累积图主要看信息量的增长态势以及震前达

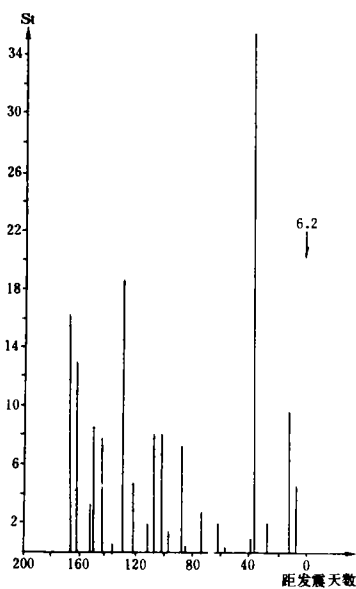


图1 1990年10月20日天祝—景泰6.2级地震离散式前兆信息量

Fig. 1 Discrete precursor information content of the Tianzhu-Jingtai M6.2 earthquake on Oct. 20, 1990.

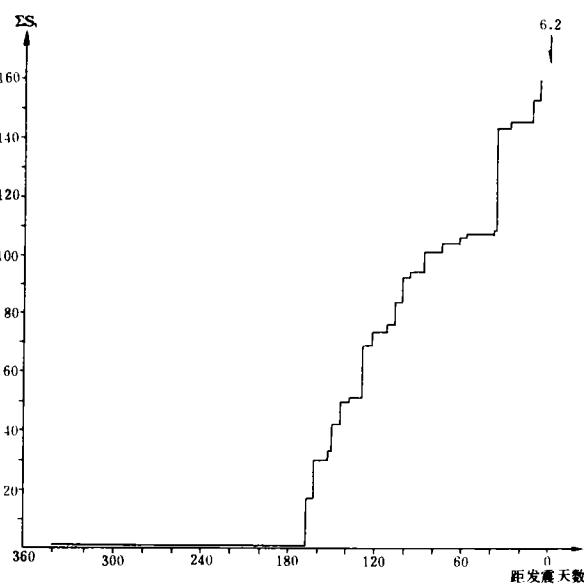


图2 1990年10月20日天祝—景泰6.2级地震累积式前兆信息量

Fig. 2 Cumulative precursor information of the Tianzhu-Jingtai M6.2 earthquake on Oct. 20, 1990.

到的最大信息量累积值。

在分析单手段前兆信息变化特征的基础上,对多次地震前 5 种手段前兆信息量的综合变化规律进行了初步探索,最后得到 92 个测项的有效单位异常平均信息量(见表 2)及包含地震三要素预报参考依据的前兆信息量直接计算法震例综合统计结果(见表 3)。

表 1 1990 年 10 月 20 日天祝—景泰 6.2 级地震地电异常前兆信息量统计

编号	异常台项	震中距 (km)	异常开始至 发震持续时间 (天)	异常 个数	单位异常 信息量	单个异常平 均信息量	异常对应 地震概率	有效单位 异常信息量	有效单位异常 平均信息量
1	定西 NE	207	292	1	0.32	0.50	0.60	0.19	0.30
2	定西 NE	207	137	2	0.68	0.50	0.60	0.41	0.30
3	定西 EW	207	132	1	0.71	0.71	0.40	0.28	0.28
4	定西 NS	207	122	1	0.77	0.55	0.42	0.32	0.23
5	平凉 EW	357	162	1	0.33	0.29	0.54	0.18	0.16
6	平凉 NS	357	312	1	0.17	0.36	0.63	0.11	0.22
7	山丹 NW	286	107	1	0.63	0.67	0.27	0.17	0.18
8	山丹 EW	286	142	1	0.48	0.74	0.28	0.13	0.21
9	兰州 NW	136	12	1	11.80	4.33	0.79	9.32	3.42
10	兰州 NE	129	87	11	1.72	0.98	0.68	1.17	0.66
11	兰州 NS	129	102	1	1.47	0.87	0.18	1.27	0.16

350km 范围内异常台站比例 4/11=0.36;异常台项比例 10/29=0.34

根据表 3 可以得到如下结论:

- (1)震级愈大,震前出现的多手段总有效信息量愈大。当 $5.0 \leq M_s < 6.0$ 时,信息量大于 13; $M_s > 6$ 时,信息量大于 94。
- (2)震级愈大,震前出现的异常测点数和异常测项数愈大,6 级以上地震的异常测点数和异常测项数都在 13 以上,异常比在 0.6 以上。
- (3)地震发生前,总有效信息量沿时间轴的分布是不均匀的,信息量的最高值大多数不是出现在临震前的几天,而是在震前 20—300 天之间,因此短临前兆指标不明显。
- (4)第一组前兆异常出现到地震发生的平均间隔时间为 250—274 天,间隔的时间愈长,震级愈大。最后一组异常距发震的平均间隔为 42—51 天。
- (5)第一组异常震中距的平均值为 172—260 km,震级愈大,则最先出现异常的地点距震中愈远。

根据上述研究结果,可提出如下预报程序:设观测资料 O_i 的 5 日均值一阶差分出现异常,查表 2 可得该测项的有效单位异常平均信息量 $\bar{S}_{i\infty}$,再乘以异常个数 n_i ,得到有效总异常平均信息值 $n_i \cdot \bar{S}_{i\infty}$,在一定时间范围内,用上述方法求得各测项的有效总异常平均信息量: $n_2 \cdot \bar{S}_{2\infty}, n_3 \cdot \bar{S}_{3\infty}, \dots, n_m \cdot \bar{S}_{m\infty}$,然后用动态追踪的方式,随时求取各时间点的有效总异常平均信息量的和 S_i (称作有效信息总量)。

$$S_i = n_1 \bar{S}_{1\infty} + n_2 \bar{S}_{2\infty} + n_m \bar{S}_{m\infty}$$

表2 有效单位异常平均信息量

测 项	有效单位 异常平均 信息量	测 项	有效单位 异常平均 信息量	测 项	有效单位 异常平均 信息量
地电 临夏 EW'	0.67	水氡 永昌北海子	1.12	应力 武山 EW'	0.02
NS	0.88	兰州五泉山	0.22	NS	0.05
定西 NS	0.23	平凉附件厂	0.08	NW'	0.07
EW'	0.28	武山	0.03	地下水动态 临泽	1.48
平凉 NS	0.22	武都殿沟	-	兰州	0.44
NE	0.14	通渭	-	成县	0.03
EW	0.16	天水官泉	0.69	礼县	1.77
通渭 NS	-	清水	-	清水	-
NW'	—	西和	—	静宁	0.10
EW	—	隍源	0.77	华亭	—
天水 NS	0.79	乐都	1.98	庆阳	—
NW'	0.97	民和	0.27	平罗	3.64
EW	1.04	大通	1.15	干盐池	0.62
礼县 NS	—	西宁	0.97	王明	0.88
EW	-	共和	2.65	苏堡	0.24
武都 NS	—	互助	2.10	九泉	2.54
EW'	0.79	贵德	1.01	金贵	0.27
P1	1.24	海源	1.35	青铜峡	3.71
NW	0.97	银川小口子	2.07	形变 兰州 FSQ NS	2.84
嘉峪关 NE	0.85	灵武	5.18	兰州 FSQ EW'	0.22
NW'	0.88	西吉	0.05	兰州 SQ EW'	0.42
山丹 NW	0.18	应力 武都 EW'	0.55	兰州 SQ NS	2.27
山丹 EW	0.21	武都 NE	0.56	兰州 SSY EW'	0.25
NS	0.91	NS	0.60	兰州 SSY NS	0.01
武威 EW	-	文县 EW'	0.30	门源 JB EW'	2.17
NS	0.81	NW'	-	门源 JB NS	6.29
兰州 NW	3.42	NS	—	高台 JB NS	1.12
NE	0.66	NW'	0.10	高台 JB EW'	0.83
NS	0.16	天水 EW'	0.97	宕昌 FSQ EW'	-
固原 EW	0.18	NE	0.97	宕昌 FSQ NS	0.13
NS	0.47	NS	0.13		
NE	0.09	NW'	0.76		
中卫 NS	3.62	刘家峡 EW'	0.98		
EW	1.51	NE	0.55		
定西 NE	0.30	NS	2.69		
水氡 榆中	0.06	NW'	1.03		
扎子沟	0.38	静宁 EW'	0.66		
红寺湖低氡	0.26	NE	-		
西武当	0.79	NS	0.41		
红寺湖高氡	0.43	NW'	0.14		

表 3 前兆信息量直接计算法震例综合统计结果

有效信息总量		异常测点比例 (平均)		异常测项比例 (平均)	
$5.0 \leq M_s < 6.0$	$M_s \geq 6.0$	$5.0 \leq M_s < 6.0$	$M_s \geq 6.0$	$5.0 \leq M_s < 6.0$	$M_s \geq 6.0$
>13	>94	0.48	0.69	0.49	0.61
第一组异常至发震 的平均间隔时间		第一组与最后一组 异常平均间隔时间		第一组异常震 中距平均值	
$5.0 \leq M_s < 6.0$	$M_s \geq 6.0$	$5.0 \leq M_s < 6.0$	$M_s \geq 6.0$	$5.0 \leq M_s < 6.0$	$M_s \geq 6.0$
250 天	274 天	221 天	246 天	172km	260km
最后一组异常到发震 的平均间隔时间		异常测点数		异常测项数	
$5.0 \leq M_s < 6.0$	$M_s \geq 6.0$	$5.0 \leq M_s < 6.0$	$M_s \geq 6.0$	$5.0 \leq M_s < 6.0$	$M_s \geq 6.0$
52 天	42 天		>13		>13

式中 n_m 为异常个数, m 为出现异常的测项序号。

当 S_i 达到一定数值时, 比如当 $S_i \geq 94$ 时, 我们就可以预报 6 级以上地震(当然还要综合考虑异常的测点数和测项数)。三要素估计如下:

(1)发震时间: 从第一组异常出现开始算起, 优势的发震时间段为 250—274 天。

(2)发震地点: 可从两个方面来估计, 一个是以出现异常的台站为中心, 以异常控制范围为半径画圆, 预测震中就是这些圆的交汇部位。二是第一组异常出现的台站距预测震中的优势距离为 172—260 km, 综合判定时还要考虑发震构造。

(3)震级: 当有效信息总量大于 13 时, 预测震级为 $5.0 \leq M_s < 6.0$; 当有效信息总量大于 94 时, 预测震级 $M_s \geq 6.0$ 。

从以上研究结果可以看出, 目前所能做到的仍然是一种概率性预报, 只能给出三要素可能出现的范围。明确的临震前兆指标尚未找到, 但对于概率性预报来说, 本项研究确实提供了一些有意义的定量、半定量判据指标。

参考文献

1 罗兰格, 等. 地震综合计算预报方法及其物理实质. 地震监测与预报方法清理成果汇编综合预报分册. 地震出版社, 1989

2 周硕愚. 系统科学导引. 地震出版社, 1988

3 郭仲伟. 风险分析与决策. 机械工业出版社, 1986

APPLICATION OF DIRECT COMPUTING METHOD OF INFORMATION
CONTENT IN THE RESEARCH ON THE PRECURSOR INDEX SYSTEM
IN THE GANSU-NINGXIA-QINGHAI REGION

Wang Zhenya, Qian Jiadong, Guo Daqing, Li Zuotang and Sun Jingfang

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou 730000*)

Abstract

In this paper the direct computing method of precursor information content of anomalies is put forward, and the transformation of non-dimensional precursor information content of precursory anomalies of various observation data has come true.

By means of this method we have accomplished the calculation of precursor information content of correlative anomalies which are extracted from the difference values of five-day average from 92 observation items distributed over Gansu, Ningxia and Qinghai.

On the basis of reviewed research on the 24 $M_s \geq 5.0$ earthquakes we have obtained effective average information contents of unit anomaly about 92 observation items, which become not only important references for earthquake prediction but also a good foundation for the further research on the precursor index system.

According to the statistical analysis on the change characteristics of precursor information of $M_s \geq 5.0$ earthquakes, the reference indexes of three elements of earthquake prediction are given.

Subject words: Precursor information, Gansu—Ningxia—Qinghai region, Correlation earthquake, Prediction index