

云南水汞群体非均匀度异常与成组强震活动关系

陈燕, 石绍先, 刘强

(云南省地震局, 云南昆明 650041)

摘要: 阐述了一种前兆群体异常信息提取新方法前兆群体非均匀度的数学原理, 并以云南水汞群体异常信息为例进行了具体计算。结果表明该方法以群体异常分布特征的变化为异常标准($ID \geq 1$), 达到异常即自动识别报警。该方法能克服个人经验的局限, 易为他人进行检验, 可成为本地区成组强震预测对应概率较高的新指标。

关键词: 云南; 水汞; 群体异常; 非均匀度; 短期预报

中图分类号: P315.72⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2007)02-0161-04

Relationship between Anomaly of Group Inhomogeneous Degree of Mercury Content in Groundwater and Grouped Strong Earthquakes in Yunnan Province

CHEN Yan, SHI Shao-xian, LIU Qiang

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650041, China)

Abstract: The mathematics principle of Inhomogeneous Degree (ID) of precursor group anomaly, a new method for extracting precursor group anomaly, is expounded. Taking the group anomaly of mercury content in groundwater in Yunnan province as an example, the method is practical calculated. The result shows that ID of precursor group anomaly can identify and alarm automatically in short-term earthquake prediction with taking the break of distributive features of precursory group anomaly as the anomalous criteria ($ID \geq 1$). The method overcomes personal experiential limitation and can be examined easily by other people. It could provide a new prediction index with high corresponding probability for grouped strong earthquake prediction in Yunnan region.

Key words: Yunnan province; Mercury content in groundwater; Group anomaly; Inhomogeneous Degree; Short-term prediction

0 引言

地震预报大量实践和研究认为前兆变化直接与构造活动相联系。一般情况下各活动构造承受的区城应力场和附加应力场的时间和强度各不相同, 与此相关的单项前兆变化也具有较大的随机性。陈颢指出^[1]: 至今不仅没有任何一种“前兆”在所有地震之前都被观测到, 而且也没有任何前兆一旦出现之后必然发生地震, 因此仅靠单项前兆来预报地震其虚报漏报可能性较大, 需要探索前兆群体异常预报方法。事实上一次破坏性地震的孕育常伴随着较大范围内多种前兆异常的出现, 以前兆群体异常作为

地震“前兆”更科学。

梅世蓉等^[2]指出大震发生之前, 前兆异常在时空二个方面普遍存在非均匀分布特征, 在地震孕育进入短临阶段, 前兆群体变化一反长期阶段相对稳定的趋势发展而出现转折、突变、加速, 同时异常种类增加。张国民等指出^[3]短临阶段前兆异常形态多样, 异常数量随时间呈指数性增长, 源区、近源区越靠近发生时间数量越多, 异常由外围向震中迁移, 且在迁移中增强。同时短临异常沿发震构造具有相对集中性。探索前兆群体异常非均匀性分布特征可能更有利于确认地震孕育进入短期阶段。

收稿日期: 2006-11-22

作者简介: 陈燕(1958-), 女(汉族), 云南人, 工程师, 从事地震预报与管理工作。

李志雄等^[4]曾对地震活动非均匀度进行首创性研究,指出区域地震活动的非均匀度能较好地反映出区域应力的变化及区内强震孕育过程的非线性—非稳态变化。本文阐述了这一前兆群体异常信息提取新方法——前兆群体非均匀度的数学原理,并以云南水汞群体异常信息提取为例进行了具体计算,讨论了云南水汞群体非均匀度异常与云南成组强震预报的关系。

1 前兆群体异常信息提取与处理

1.1 前兆群体异常研究常遇到的问题及处理

(1) 前兆群体研究必然涉及多种不同量纲的物理量和化学量,因此必须进行消除量纲的数学变换;

(2) 群体前兆中各项前兆变化绝对值悬殊较大,必须进行等权处理才能克服绝对值大的前兆变化掩盖绝对值较小的前兆异常;

(3) 利用极差标准化数学方法分别对各项前兆进行等权无量纲处理。极差标准化的数学式为

$$a_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

式中 a_i , $x_{\max}$, $x_{\min}$ 分别为经处理后的新的前兆序列、被计算的原前兆序列、原序列中最大值和最小值。分析该数学表达式即可发现:对于某一观测序列来说其分母为一个不为零的定值,各个被处理后的新序列 a_i 必然最大值均为 1,最小值均为零,处理后的各个单项前兆仍然保持其原来的变化形态,并失去了原来的量纲,从而克服了前述 2 个常遇问题。

在目前通常会商会上往往习惯把各项前兆进行 2 极编码,即有异常为 1,无异常为 0,进而统计异常数和台项比。该方法过于简单和绝对化,无法保持各前兆序列的变化形态和细节,特别是无法识别前兆群体异常发展变化的过程。

1.2 前兆群体异常信息的提取方法

各项前兆经过式(1)处理后可得到新的群体前兆变化矩阵:

$$Z = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{p1} & a_{p2} & \cdots & a_{pn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, $a_{ij(\max)} = 1$, $a_{ij(\min)} = 0$ 。在此基础上再进行综合异常信息 A_i 的提取计算,即

$$A_i = \sum_{j=1}^p a_{ij} / p \quad (3)$$

以滇西地震预报实验场相对平静的 1992 年 3

类(R_n , Hg , CO_2)计 14 项在实际预报中使用最多的前兆群体为例进行计算得到图 1。从图中可以看到在 1992 年 1 月至 10 月 31 日本区 14 项前兆群体异常信息相对稳定,均值为 4.54,均方差为 2.42,均值加 3 倍均方差 11.80,全部计算值均小于均值加 3 倍方差,处于均匀稳态发展过程之中。但从 1992 年 11 月上旬起开始出现异常,最大异常达均值加 14 倍均方差,恰在异常峰值处实验场区内永胜发生了 $M_s 5.4$ 地震。

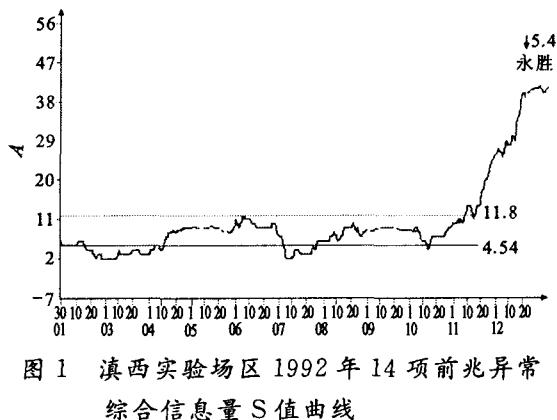


图 1 滇西实验场区 1992 年 14 项前兆异常综合信息量 S 值曲线

Fig. 1 The S-value curve of synthetisal anomaly information from 14 precursors in 1992 in the earthquake experimental field of Western Yunnan.

1.3 前兆群体异常的分布特征

由式(3)可知道群体前兆异常信息是由同期各项前兆经等权无量纲处理后合成的,因此异常信息序列中各项是相互独立事件。

从图 1 实例看到正常情况下,前兆群体异常综合信息变化相对稳定在均值 4.54 上下,1992 年 1 月至 10 月全部计算值都小于均值加 3 倍均方差。

根据数理统计理论可知:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad \sigma > 0, -\infty < \mu < +\infty \quad (4)$$

式中的 $f(x)$, σ , μ 分别为正态分布的概率密度函数、标准差和数学期望值。由数学期望、方差可知,各点值落入区间 $[\mu + 3\sigma, \mu - 3\sigma]$ 内的“3 σ 规则”认为:实际计算结果的上述 2 个分布特征是正态随机序列的分布特征,换句话说前兆群体异常信息变化在正常情况下服从正态分布。

2 前兆群体非均匀度的定义及计算

2.1 χ^2 检验的引入

前面已经论证了前兆群体异常计算结果 A_i 是

相互独立的且服从 $N(\mu, \sigma^2)$ 的正态分布, 这样可通过 σ_0 的置信区间来作假设, 即

$$\frac{1}{\sigma_0^2} \sum_{i=1}^n (A_i - \mu)^2 \quad (5)$$

服从 $f = n - 1$ 自由度的 χ^2 分布, 若给定显著水平 α , 检验 $H_0: \sigma \leq \sigma_0$ 的否定域为

$$\frac{1}{\sigma_0^2} \sum_{i=1}^n (A_i - \mu)^2 > \chi_\alpha^2 \quad (6)$$

对于给定的置信度 $1 - \alpha$, 则 σ 的置信区间应在下述变化区间范围内:

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \mu)^2}{\chi_{\alpha/2}^2}} \sim \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - \mu)^2}{\chi_{(1-\alpha/2)}^2}}$$

对于给定的样本数 n , 则 $f = n - 1$, 容易计算得其均值 μ 、均方差 σ_0 和 χ_α^2 , 也可以通过查表给出 $\chi_\alpha^2(f)$ 。

2.2 前兆群体非均匀度定义

前兆群体正常情况下其异常信息具有正态分布特征, 一旦出现异常则会突破均匀分布特征, 这样我

们定义前兆群体非均匀度 (Inhomogeneous degree, 缩写为 ID)

$$ID = \chi_{\text{fit}}^2 / \chi_\alpha^2(f) \quad (7)$$

式中, χ^2 服从正态分布的统计量, $\chi_\alpha^2(f)$ 为某一显著水平 ($\alpha = 0.05$) 的临界值 $\chi_{0.05}(f)^2$, f 为自由度, 若 $\chi_{\text{fit}}^2 \leq \chi_{0.05}(f)^2$, 则实际计算序列与正常稳态均匀分布具有显著的一致性, $ID < 1$; 反之 $ID \geq 1$ 则认为变化过程突破了原来的均匀稳态的变化过程, 呈现非均匀度异常。这一异常标准完全脱离个人经验而自动识别异常, 同时可以极方便地用异地前兆数据或他人进行检验。

3 云南水汞群体非均匀度计算实例

本文选取了云南省地震局目前正在观测并用于云南实际地震预报的观测点 9 个水汞即: 洱源、江干、下关、弥度、楚雄、思茅、曲江、弥勒、保山的 1994 年至 2001 年 12 月 31 日全部数据, 按上述思路、方法和相关计算软件进行计算, 得到图 2。

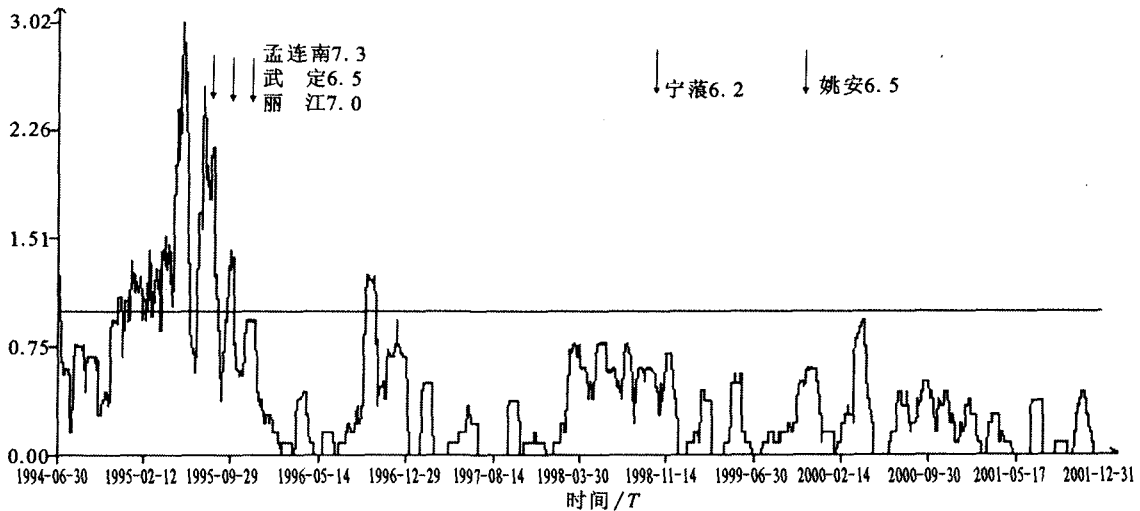


图2 云南水汞群体非均匀度(ID)与成组强震关系

Fig. 2 Relationship between the inhomogeneous degree(ID) of mercury content in groundwater in Yunnan Province and grouped strong earthquakes.

从图2中云南水汞群体8年变化细节中可明显看到, 从1994年到2001年的8年中水汞群体非均匀度正常情况下非常稳定, 即使省内出现单个强震其变化仍然变化很小, 而在1995—1996年云南成组强震前最大异常为3.02, 是异常阈值的3倍, 异常非常显著。从1994年12月5日出现异常, $ID = 1$, 1995年5月26日达到最大值, $ID = 3.02$, 1995年6月15日异常结束, 异常持续时间共192天, 异

常时间占整个研究时间2920天的0.066, 约为7%, 显然这是极小概率事件; 异常至峰值后46天发生1995年7月12日孟连7.3级大震, 随后又发生了1995年10月24日武定6.5级强震、1996年2月3日丽江7.0级大震; 此后直到2001年12月的6.5年中再也没有出现新的异常, 外推预报无虚无漏。

若将整个研究时段以异常的192天为单位进行分段, 则可分为约15个时间单位, 这样可得到下述

水汞群体异常与成组强震的双概率检验统计表 1。

于是可以得到:异常对应地震率 $S = \text{异常对应地震概率} - \text{异常虚报地震概率} = \frac{1}{1} - \frac{0}{1} = 1$;地震对应异常率 $R = \text{地震对应异常率} - \text{地震漏报率} = \frac{1}{1} - \frac{0}{1} = 1$;异常与地震相互对应概率 $P = \frac{R+S}{2} = 1$ 。

表 1 云南水汞群体异常与成组强震
双概率检验统计表

	异常	无异常	Σ
地震	1	0	1
无震	0	15	15
Σ	1	15	

显然云南水汞群体非均匀度异常对于网内成组强震对应概率 $P=1$,同时其异常峰值后 46 天发生了首次强震,异常提前量基本上能满足短期 1~3 个月的时间要求。可以说水汞群体非均匀度异常是对应概率较高的中短期预报指标,对研究范围内的成组强震具有重要的短临预报意义。文献[5]曾对川滇地区成组强震与该区地震活跃期关系作了系统研究并指出:94%的成组强震均发生在地震活跃期内,因此它也是地震活跃期存在的重要判别指标。

4 结论与讨论

(1) 前兆群体非均匀度方法是提取水汞群体异

常和其它各类前兆群体异常的有效方法;

(2) 云南水汞群体异常是本区成组强震对应概率较高的短期预报指标和地震活跃期存在的重要判别指标。

(3) 一般认为中小地震只是单个断层的活动行为,只有强震、大震才可能同时涉及多个地块,使得多个构造活动出现异常。实际上当区域地震活动处于相对稳定状态时,各测点的变化常常是随机的相对独立的,一旦在测点附近孕育着强震一大震时,有可能造成多个甚至全部测点均出现变化;因此云南水汞群体异常信息提取有利于从总体上把握区域构造活动状态,有利于判别是否存在强震、大震、成组地震的孕育及地震活跃期的存在。

本文得到石绍先研究员的指导,在此表示感谢。

[参考文献]

[1] 陈颢. 探索地震前兆复杂性[M]. 北京:北京学术期刊出版社, 1989;85-112.

[2] 梅世荣,冯德益. 中国地震预报概论[M]. 北京:地震出版社, 1993;144-157.

[3] 张国民,傅征祥. 由岩体失稳讨论地震前兆的复杂性[J]. 地震研究,1990,13(3):215-221.

[4] 李志雄,高旭. 地震非均匀度的研究及在强震中期预报中的应用[J]. 地震,1994,14(6):11-18.

[5] 石绍先,曹刻,和宏伟. 川滇地区成组强震活动基本特征研究[J]. 地震研究,2003,26(增刊),55-61.