

用因子分析法识别地震孕震信息的研究

杨立明 毛可 韩友珍 朱建萍

(国家地震局兰州地震研究所, 兰州 730000)

摘要 探索了用因子分析法识别地震孕育信息。结果很好地反映了共和等地震的孕育信息在震前及震后的演化过程,表明了地震活动性和前兆是同一地震孕育过程中不同阶段或同一阶段的不同表现形式,指出了不同的因子在预报中的时间意义。

主题词: 孕震过程 地震前兆 异常识别 因子分析法

1 引言

地震活动依赖于一定的活动构造。一般来讲,在较大的地震前,在一定的时空域内都有大量的地震活动性和前兆异常显示,这些异常种类繁多,形态各异,且绝大多数由于成因上同源而存在一定的相关性,存在起支配作用共同因素。如何从相互关联的大量的观测资料中提取起支配作用的独立因素,揭示有用的预报信息,这是地震分析面临的基本问题,也是许多学科都会遇到的问题。因子分析法能较好地解决这一问题。该方法是一种在石油、地质等领域得到广泛应用的信息处理方法^[1],在地震界因子分析法的应用则显得不够,文献[2]作了较早的尝试。本文试图探索用因子分析法识别和提取地震的孕育信息。

2 因子分析法的基本思想和原理

因子分析法是把一些具有错综复杂关系的因子或观测变量归结成数量较少的几个综合因子的方法,这几个综合因子能尽可能多地反映原来的因子信息,且彼此独立。因而因子分析法实际上是一种信息的浓缩简化方法,通过综合因子来表达原观测系统,既解释了原因子之间的相关性,又简化了原观测系统。

对于有 N 个测值的 P 个变量系统,可以组成一个 $P \times N$ 的观测阵,假设相关变量 x_1, x_2, \dots, x_p 可以用比它们数目少得多的综合因子 F_1, F_2, \dots, F_m ($m < p$) 和仅与某一变量 x_i 有关的单一变量 X 线性组合来表示:

$$x_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + b_iX \quad (i = 1, 2, \dots, p)$$

用矩阵表示为:

$$X = AF + B\epsilon$$

其中 F 称为公共因子阵,系数阵 A 称为因子载荷阵,该式称为因子模型。因子分析的结果用因子得分来表示,其意义是由原始数据阵 X 求出的新因子阵,记为 DF 。

$$DF = \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \hat{u} \\ F_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \hat{u} & \hat{u} & & \hat{u} \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & f_{mn} \end{pmatrix}$$

或

$$F_i = f_{i1}x_1 + f_{i2}x_2 + \cdots + f_{in}x_n$$

其中 f_{ij} 表示第 j 个变量在第 i 个主因子轴上的取值 这样, 原来的 $P \times N$ 的观测系统就被 $M \times N$ 的简化系统所取代, 原来的相互关联的 P 个观测变量 $x_i (i= 1, 2, \dots, p)$ 被 m 个相互独立的公共因子 $F_i (j= 1, 2, \dots, m)$ 所取代, 实现了简化系统, 抽取独立因素的目的

在实际的分析处理中, 由原始变量的相关阵出发, 得出因子分析的数学模型, 求出主因子解, 通过对因子轴的旋转, 得出切合实际的正交因子解 另一方面, 充分考虑地震孕育的可能范围及相关区, 选用处于这些范围内的有关指标进行分析, 以保证信息的同源性.

3 地震活动的因子分析

选用 1980—1994 年 $M_S \geq 3.0$ 地震, 以祁连山中段北纬 $35^\circ - 39^\circ$, 东经 $98^\circ - 104^\circ$ 为研究区域, 以 b 值、频度、蠕变、缺震、 c 值等常用的描述地震活动性的指标为研究变量进行因子分析, 因子得分如图 1 所示

从图 1 可以看出, 对因子 F_1 , 1983 年前后, 曲线斜率明显不同, 表明地震活动有着明显的差异. 据文献 [3] 的研究结果, 青藏高原北部地区第 5 地震活动周期从 1983 年开始, 1989 年进入活动高潮期. 这种结论已为近几年地震活动的实际情况所证实 因子得分 F_1 在 1983 年的转折, 可能体现了第 4 地震活动周期平静期的结束, 标志着第 5 活动期的开始, 而图中 1985—1991 年的相对高值可能反映了这一时期内, 地震活动水平较高. 因此, 因子 F_1 可能与地震活动的周期相关, 它可为地震活动的大形势分析提供一种线索.

对因子 F_2 , 查阅地震活动记录, 几乎每一个峰值后约半年左右的时间内都有地震发生, 见图 1 其中 1988 年肃南 5.7 级和 5.1 级地震, 1992 年祁连 5.0 级地

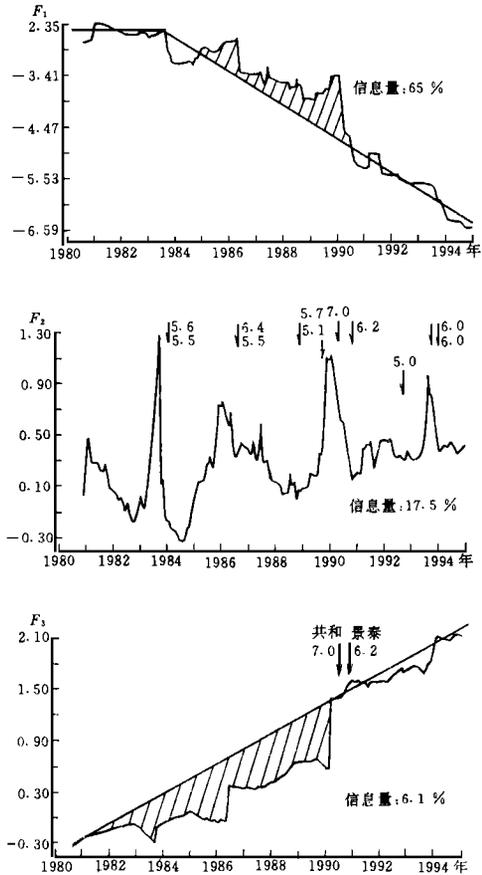


图 1 地震活动性因子得分图
Fig. 1 The factor scores of seismicity.

震对应峰值较小,究其原因,可能这几次地震均发生在研究区域的边缘,由于资料不全所引起因此,因子 F_2 反映了地震发生的短临信息,对地震的短临预报有一定的意义。

因子 F_3 在 1983 年前保持一种准线性的状态,1990 年以后恢复这种准线性的变化状态,而 1983—1990 年明显偏离这种状态。1990 年在研究区范围内发生了共和 7.0 级地震, F_3 的变化可能表明,共和地震从 1983 年起已开始孕震。因此, F_3 可能对 7.0 级地震具有长期的预报意义。

4 前兆观测资料的因子分析

选用祁连山东段的多台项观测资料,考虑到前兆观测受场址、环境等多种因素的影响及前兆本身的复杂性,采用同类资料组合以及最终综合的分析思路进行研究

4.1 地电类

选用武威地电台、兰州地电台、通渭地电台 1986 年 1 月—1994 年 9 月的观测资料月均值进行因子分析,因子得分如图 2 所示。由图 2 可以看出,1989 年下半年以前,因子得分维持高值,在较小的范围内呈上下波动变化,从 1989 年下半年到 1991 年,因子得分大幅度下降,其间发生了共和 7.0 级及景泰 6.2 级等地震,从 1991 年至 1994 年 9 月,因子得分维持在较低值处变动。因此该因子得分较好地反映了共和地震及景泰地震过程中地电的变化,因子得分的突变

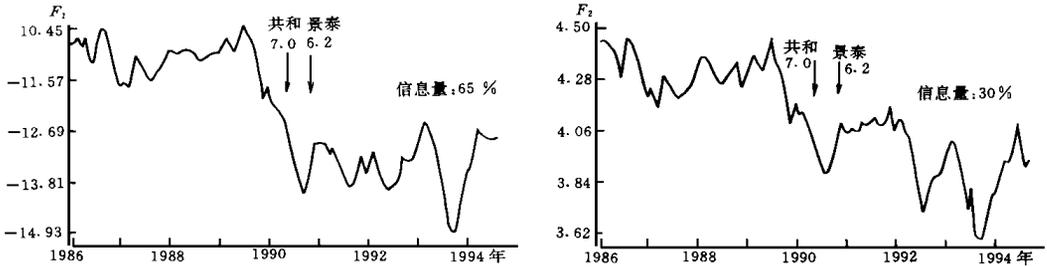


图 2 地电类因子得分图

Fig. 2 The factor scores of geoelectric observations.

距发震时间大致在半年左右,因此有短期预报意义。

4.2 应力、形变类

利用刘家峡最大主应力、门源金属摆和兰州水管仪 1987 年 1 月—1994 年 9 月的观测资料月均值进行因子分析,作出因子得分,如图 3 所示。

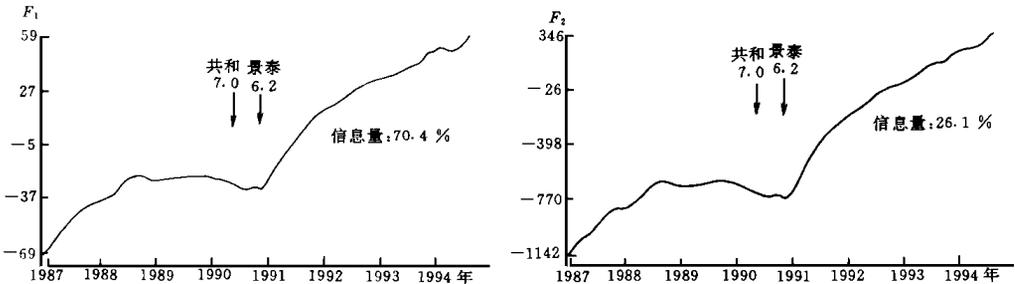


图 3 应力、形变类因子得分图

Fig. 3 The factor scores of stress and deformation observations.

由图 3 可以看出, 1989 年以前, 因子得分维持一种准线性变化, 从 1989 年到 1992 年初, 因子得分经历了转平、恢复等阶段, 从 1992 年初到 1994 年 8 月, 恢复到了原来的准线性变化状态。因此, 该因子得分可能同样反映了共和及景泰地震的应力、形变变化过程。从异常的发生到发震持续时间在 1 年以上, 因子得分的变化具有中期预报的意义。

4.3 浅层地温

利用门源、西宁、共和等台站 1984—1991 年的浅层地温月均值资料, 消除年变, 作出因子得分图, 如图 4 所示。F₁ 从 1987 年底到 1990 年初, 维持较高的水平, 1991 年恢复到 1987 年以前的水平, 1990 年发生了共和和景泰地震, F₁ 高值异常持续了 3 年, 具有中期预报意义。F₂ 从

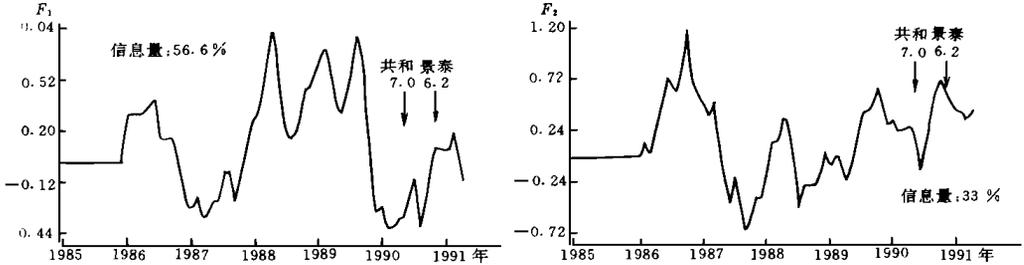


图 4 浅层地温因子得分图

Fig. 4 The factor scores of shallow geotemperature observations.

1987 年以后处于一种随机波动状态, 没有明显的异常显示。

4.4 水氡类

利用湟源、乐都、西宁、长宁、互助等台的 1988 年 3 月—1993 年 3 月水氡观测资料月均值, 作出因子得分图, 如图 5 所示。由图 5 可见, 从 1989 年下半年起, 因子 F₁、F₂ 大幅度上升, F₃ 下降, 持续到 1991 年以后恢复, 清楚地体现了水氡资料对共和等地地震的反映, 从异常到发震的时间大致为 1 年, 因此具有中短期预报意义。

4.5 前兆资料的综合

综合武威、兰州、通渭等地电台观测资料和刘家峡最大主应力、兰州水管仪等 5 种手段 1987 年—1994 年 8 月的月均值资料进行因子分析, 因子得分如图 6 所示。由图 6 可以看出, 3 个因子几乎同时从 1989 年年中出现大幅度上升或下降的异常, 从 1990 年底开始恢复, 持续到 1994 年初, 异常与共和及景泰等地地震相对应, 因子得分的变化过程反映了异常的形成、发展和恢复的全过程。从异常的起始到发震大约 1 年左右时间, 因而属于中期前兆。因子得分 F₂ 中的两个峰, 分别对应 1990 年的共和、景泰两次地震和 1994 年 1 月的共和 6.0 级强余震, 这是本研究区 1987 年以来仅有的 3 次 6.0 级以上地震, 各类单项资料都难以完全反映出这 3 次地震的过程, 因而多资料综合因子得分对于本区 6.0 级以上地震的预报具有实用价值。

5 结语

综上所述, 可以得出以下结论:

(1) 对于地震活动性资料来讲, 因子 F₁ 与地震活动的周期相关, 反映了地震活动的大形势; 因子 F₂ 对应地震的比率很高, 而且异常距发震时间在半年以内, 具有短临预报意义; 因子 F₃ 则对 1990 年共和 7.0 级地震反映较好, 具有中长期预报意义。

(2) 对前兆观测资料来讲, 地电资料的映震时间在半年左右, 具有短临预报意义; 应力、形

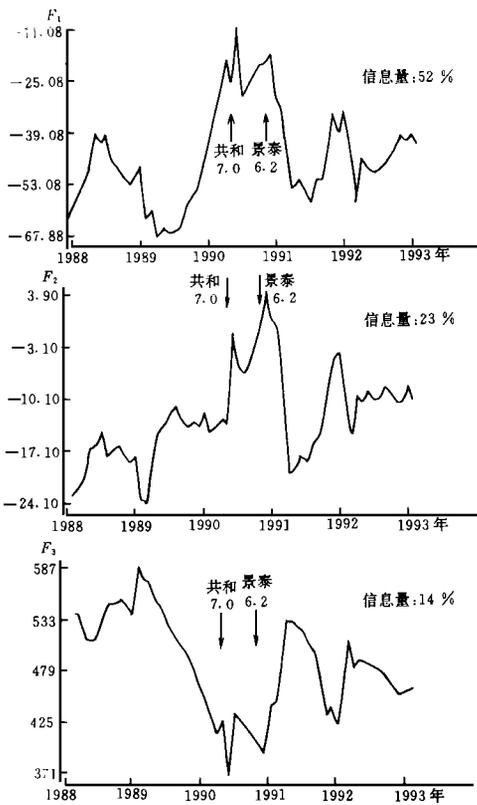


图 5 水氡类因子得分图

Fig. 5 The factor scores of radon observations.

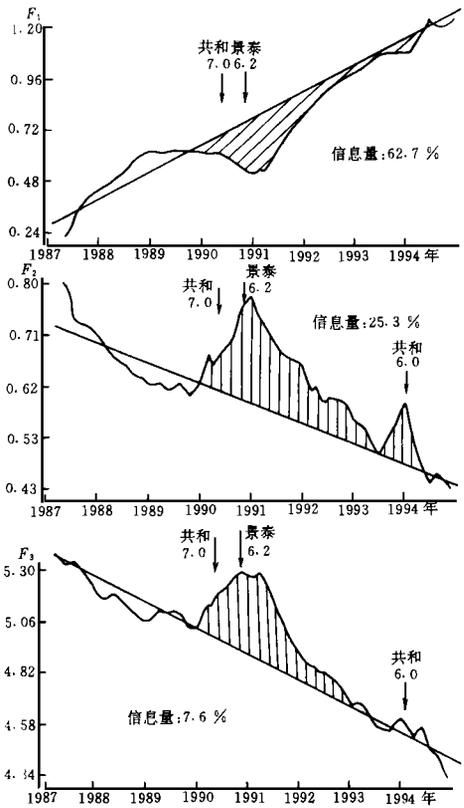


图 6 前兆综合因子得分图

Fig. 6 The comprehensive factor scores of precursors.

变类资料和浅层地温资料的映震时间持续 1 年以上,具有中期预报意义;水氡资料的映震时间在 1 年以内,具有中短期预报意义。

(3)地震活动性和前兆是在地震孕育过程中不同阶段或同一阶段的孕震信息的不同表现形式。对于中强地震的孕育、演化和发生过程来讲,地震活动性异常和前兆是配套出现的,首先是地震活动性因子的异常,然后是应力、形变类及浅层地温的异常,接着是水氡、地电、前兆综合及地震活动性的部分因子等短临异常出现,这对利用实际资料进行正确的震情判定具有指导意义。

总之,因子分析法可以有效地提取不同阶段的孕震信息,尤其是几项短临因子与地震的发生具有较好的对应关系,在实际地震预报中有一定的实用价值。

由于因子分析法应用于孕震信息的识别是一项探索性的工作,加之实际观测资料的长度有限,所得结论有待进一步的证实。

参考文献

- 1 赵旭东. 石油数学地质概论. 北京: 石油工业出版社, 1992.
- 2 刘文义. 地震前兆信息系统的信息分解与浓缩. 地震, 1993, (5): 18- 23.
- 3 石特临, 郭大庆, 等. 应用动态序列建模方法研究我国大陆及青藏高原北部地区地震活动大形势. 中国地震大形势预测研究. 北京: 地震出版社, 1990. 82- 89.

ON IDENTIFICATION OF THE INFORMATION OF EARTHQUAKE PREPARATION USING FACTOR ANALYSIS METHOD

Yang Liming Mao Ke Han Youzhen Zhu Jianping

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

Abstract

In this paper, the factor analysis method to identify the information of earthquake preparation is studied. The results reflect better the evolution process of the information before and after the main shock of the Gonghe earthquake and others. Meanwhile, it indicates that the activity and precursors are different form for distinct stage or same stage to one event, and gives the time mean of each factor. The study has certain practical value for earthquake prediction.

Key words Seismogenic process, Earthquake precursor, Anomaly recognition, Factor analysis method