

卡方检验在华北强震前的应用

卫 超

(河南焦作市地震局, 河南 焦作 454150)

摘要: 用卡方检验的数理统计方法, 结合华北地区活断层、震源机制解等地震地质构造, 对华北地区 3 次强震前的地震活动进行了时间及空间上的检验。认为, 卡方检验不仅揭示了中强震前地震的丛集特性, 而且体现了强震与地震地质背景之间的密切关系, 揭示了构造体系与地震的某些联系。

关键词: 地震频次; 地震构造; 震源机制解; 卡方检验

中图分类号: P315.75 **文献标志码:** A

0 引言

卡方检验是一种较为常用的数理统计方法, 在测量、天气预报^[1]、工农业生产统计中有较为广泛的应用与良好的应用效果, 本文试图将其引入对地震事件的统计检验。利用地震序列进行数理统计的方法已有很多, 但都没有从机理上说明统计方法与地震之间的关系, 因而不能配合地震地质等基础性理论进行进一步的研究。在地震预报的发展过程中, 人们越来越重视基础性资料的研究, 而把统计计算方法作为工具来使用。从华北地区普遍被认为前震不明显的 3 次中强震前的地震活动着手, 结合华北地区活断层、震源机制等发震的机理, 解释了这 3 次地震活动的发震背景、强震前中小地震的活动特征及与卡方检验之间的联系, 认为, 强震的孕育发展与其构造背景之间有极为重要的联系, 建立在此种联系基础上的卡方检验也在一定程度上能够预报强震的时空要素。

1 原理及方法

卡方检验在统计学上称为 X^2 检验, 其方法及原理如下。

设一段地震序列 $s = \{t\}$ 为研究样本, 则对此段样本按一定规则分别进行频次统计并进行差分运算, 得到一组预处理过的值 $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 。一个确定的区域在正常情况下, 单位时段(如 1 个月)所发生地震的次数大致会趋于各单位时间段所发生的地震次数的平均值 μ , 这样发生 μ 次地震的时段会最多。发生偏离

(正向或负向) μ 值时段(或子区域)会随偏离的幅度而逐渐减小。假设离散差为 δ , 且该组值服从正态分布, 则其概率密度函数为:

$$P(X) = \frac{1}{\delta \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\mu)^2}{2\delta^2}}$$

若将 X 的取值范围分为不相交的 m 个区间, 则落在任何一个区间 $[a_k, a_{k+1}]$ 的概率值为:

$$P_k = \int_{a_k}^{a_{k+1}} P(X) dX$$

落在区间 k 中的理论频次为 N_{pk} , 若实际落入区间 k 中的频次为 N_k 的话, 则对 m 个区间的加权统计量为:

$$X^2 = \sum_{k=1}^m \frac{(N_k - N_{pk})^2}{N_{pk}}$$

为验证本组观测值是否服从正态分布的显著性, 设

$$P = X^2 / X_a^2(f)$$

式中: $X_a^2(f)$ 为检验中一定置信水平下 ($a = 0.01$) 的临界值, 自由度 $f = m - s - 1$, 其中 s 为正态分布的参数。若 P 较小, 表明其服从正态分布的规律, 是背景值; 若较大, 则表明是异常。

2 资料选取

华北地区地质构造复杂, 中强震时有发生, 对人们的生产生活有着巨大的影响, 因此, 人们对华北地区的地震地质情况做了比较多的研究, 提供了一定的基础性资料。加之, 该区小震记录较为完整、可靠, 因此, 提供了科学的统计样本。华北地区活断层构造及震中分布图见图 24 页图 1。

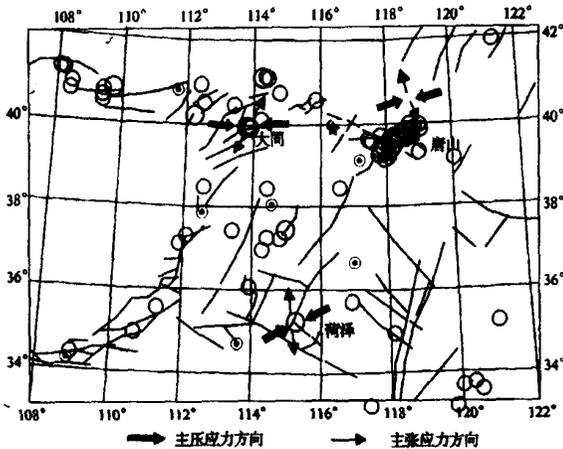


图1 华北地区5.0级以上地震震中分布图及部分震源机制解

Fig. 1 Distribution of the epicenters of earthquake of $M_L \geq 5.0$ and some focal mechanism solutions of them in North China

所选地震目录为国家地震局编制的1970年以来

的《中国地震目录》(以下简称《目录》),对河北唐山、山东菏泽、山西大同—阳高4次强震,从《目录》中选取其震前5 a~6 a,以其震中范围 $5^\circ \times 5^\circ$, $M_L \geq 2.2$ 的地震,选取区域与地震见表1。

3 卡方检验变化特征及其与地震地质的关系

3.1 卡方检验计算

卡方检验时间变化特征以12个月内地震频次为独立统计值,并以12个独立统计值的差分值为一组统计数据,以1个月为滑动步长进行时间扫描。

卡方检验空间变化特征以震中为中心,以周边 $5^\circ \times 5^\circ$ 空间区域为对象,以 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 内地震频次为独立统计值,以 $1^\circ \times 1^\circ$ 为窗长,经纬度方向上 0.5° 为滑动步长进行空间扫描。

3.2 河北唐山地震卡方检验

河北唐山地震卡方检验结果见图2。

表1 华北地区强震参数及卡方检验选取范围表

Table 1 Strong earthquake parameters in North China and selected data range for Chi-square test

地震震例	时间 年-月-日	φ_R ($^\circ$)	λ_E ($^\circ$)	震级	所选取资料范围	
					φ_R ($^\circ$)	λ_E ($^\circ$)
河北唐山	1976-07-28	39 38	118 11	7.8	37 00 ~ 42 00	115 00 ~ 120 00
山东菏泽	1983-11-07	35 16	115 17	6.2	33 00 ~ 38 00	113 00 ~ 118 00
山西大同—阳高	1989-10-19	39 51	113 49	6.1	37 00 ~ 42 00	111 00 ~ 116 00
山西大同—阳高	1991-03-26	39 58	113 51	6.1	37 00 ~ 42 00	111 00 ~ 116 00

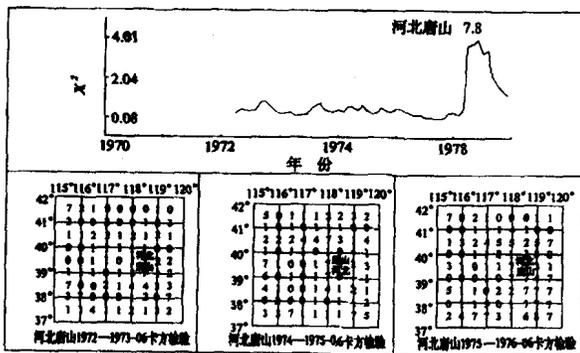


图2 河北唐山地震前时空卡方检验变化特征

Fig. 2 Variation feature in time and space Chi-square test for events before Tangshan, Hebei, earthquake

从图2可以看出,1976年以后,河北唐山地震时间卡方检验出现明显偏离其背景值的高值,表明该区域内地震出现明显的丛集现象。由动态空间卡方检验也可看出,1974年以前,该区域内大致为背景值,但地震前唐山东南部出现明显高值区域,其在出现时间上也与时间卡方检验相对应。

河北唐山地震前百家疃地震台记录到的中小地震初动方向出现规则的象限分布,表现为北东东方向上

受压,北北西方向上受拉,与唐山地震震源机制解方向大致相同^[2],与华北地块统一的应力场方向也是一致的,在其张应力轴上出现了中小震的丛集活动。其中,昌平—丰南断裂与蓟运河断裂东南部出现明显的小震活动,由于这两组断裂均通入渤海湾,无法开展深入研究,但其小震的丛集活动告诉我们,这一地区地震活动有所增加,这与唐山地震前卡方检验得到的东南部明显异常是同步的。加之,这一区域的北东向唐山断裂与沧东断裂,在一系列复杂的相互作用下发生了唐山地震。

3.3 山东菏泽地震卡方检验

山东菏泽地震卡方检验结果见第25页图3。

由第25页图3可以看出,山东菏泽地震前也出现了在时间轴上卡方检验脱离背景值而升高的情况,即1983年后出现异常高值。在空间上,卡方检验经历了从背景值到菏泽北部地区持续高值、较高值这样一个变化过程。

山东菏泽地震震源机制解P轴方位为 251° ,T轴方位为 351° ;其地震地质构造受聊兰断裂影响最为明显,而卡方检验恰恰在张应力轴北部出现偏离背景值的高值活动。聊兰带是一条铲状断裂,其新生代断距一

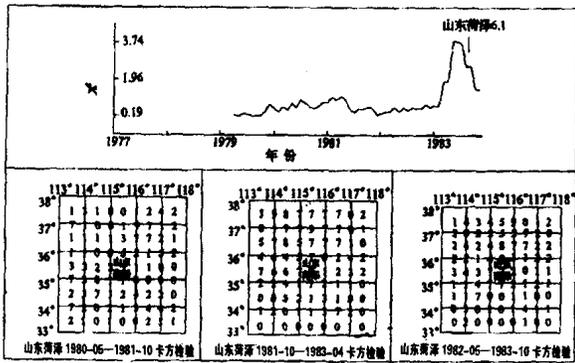


图3 山东菏泽地震前时空卡方检验变化特征

Fig. 3 Variation feature in time and space Chi-square test for events before Heze, Shandong, earthquake

一般为 1 000 m ~ 3 000 m, 并表现为自北向南加大的趋势, 在山东菏泽地区达 7 000 m, 并且呈现“南北强中间弱”的特征, 由此, 对菏泽地区影响可见一斑。刘尧兴等^[3]认为, 菏泽地震的发震构造背景为北北东—北东向大型断裂与北西西向断裂带的交汇处。因此笔者认为, 卡方检验菏泽北部地区存在高值不是偶然的, 而是与其地震地质条件存在着密切的联系, 而此高值区正好出现在此构造复杂、地质活动活跃的地区。

3.4 山西大同—阳高地震卡方检验

山西大同—阳高地震卡方检验结果见图 4。由图 4

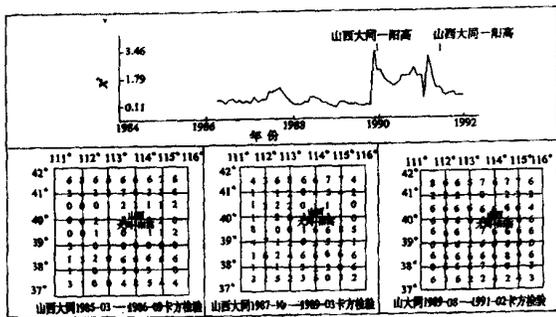


图4 山西大同—阳高地震前时空卡方检验变化特征

Fig. 4 Variation feature in time and space Chi-square test for events before Datong-Yanggao, Shanxi, earthquake

可以看出, 在研究区内, 卡方检验时间变化特征也较为明显, 2 次主震到来前均出现了检验值升高的现象, 并且距主震发生的时间都不长, 对其空间变化特征来说, 由于本区地震活动较为频繁, 因此, 存在着较高的背景区, 从其变化率上来看, 在 1989 年 10 月 19 日山西大同—阳高地震前, 在其东南方向还是出现了高值异常, 而 1991 年 3 月 26 日地震前, 其研究区域内存在大面积高值区域, 表明其地震活动水平仍处于较高阶段, 存在发生强震的可能。

1989 年 10 月 19 日山西大同—阳高地震震源机制解 P 轴方位为 279.3° ; T 轴方位为 23.8° ; 1991 年 3 月 26 日大同—阳高地震震源机制解 P 轴方位为 70.4° ; T 轴方位为 332.8° ; 这主要受该区北东东向六棱山北麓断裂、恒山北麓断裂、五台山北麓断裂以及阳高一镇断裂的影响而形成的。正是因区内多条断裂带的存在, 故地质构造发育, 小震活动较为频繁, 才表现为其存在卡方检验高值背景区, 并表现为高值变化异常后强震发生。

4 结论

卡方检验计算结果说明, 正常情况下单位时段(或子区域)发生的地震频次服从于正态分布的假设是可行的。

卡方检验同时说明了强震前中小地震活动脱离背景值出现高值异常及偏离其孕震地区地震频次正态分布特征, 进一步说明了强震前中小地震的丛集特性。

5 讨论

a) 河北唐山、山东菏泽地震前, 其震中区几十千米范围内并未出现明显的小震异常, 其发震震级及频次只保持在平均水平甚至略低, 有些人认为没有前震。但从其构造体系来看, 其周边地区在时间上确实存在着小震丛集的现象, 在空间上其主压应力轴或主张应力轴方向上也存在着脱离背景而偏高的情况, 说明“以场求源”的作法是不可取的, 应以地震可能发生的地震地质条件及震级大小来分析异常, 也就是说, 要从多方面来考虑孕震区域从而做出判断;

b) 所研究的 3 次强震, 其震源机制解 P 轴或 T 轴大体方位都与影响本区的断裂带走向基本一致, 并且卡方检验高值异常区大都出现在断裂带及其附近区域, 进一步说明摸清区域内的地震地质构造, 特别是活动断层, 对地震预报有极其重要的作用;

c) 卡方检验作为一种数理统计, 应与地震地质、震源机制等地震发生的基础性学科紧密联系进行研究, 将使强震前小震活动的异常的判断更趋于科学和合理。

参考文献:

[1] 王宗皓, 李麦村. 天气预报中的概率统计方法[M]. 北京: 科学出版社, 1974 205.
 [2] 陈非比, 张建华, 刘秉良, 等. 唐山地震[M]. 北京: 地震出版社, 1979 41-45.
 [3] 刘尧兴, 周庆, 荆智国, 等. 豫北地区新构造活动特征及中长期地震预测研究[M]. 西安: 地图出版社, 2001 108-109, 96-98.

(英文摘要见第 34 页)

较少,有待以后积累更多的资料;

d) 出现上述情形的原因与东山台周围的地质构造有密切的关系^[1]。太原盆地是山西断陷带中的一个重要断陷盆地,在其内部根据断裂的分布及断陷深度,又可以分成几个次级构造单元,太原断陷是最北部的一个次级构造单元。在太原断陷区内太行山东西断裂控制着它的两侧边界,其内发育着近南北向和近东西向的隐伏断裂。其规模,南北向的隐伏断裂较大,东西向的隐伏断裂较小。据遥感、物探、钻探资料等综合分析,太原断陷内基底是南深北浅,在断陷的北部东深西浅,在南部则变为西深东浅,呈现出4象限分布特点。太原断陷内的地震活动,主要集中在2个地区,一是南

端的晋源-小店一带,二是北端的小返-丈子头一带。有台网记录以来的弱震活动,在空间展布上仍然显示出上述特点。可以这样说,后者是山西境内中强地震及弱震活动较高的地段之一。

本文在写作过程中得到了薛振岳高级工程师的热情指导和帮助,在此深表谢意。

参考文献:

[1] 武烈, 啜永清, 田勇, 等 山西震群[M] 太原: 山西科学技术出版社, 1997. 91-92

Preliminary Analysis of Characteristics of Seismic Wave Recorded at Dongshan Telemetric Station of Taiyuan of Shanxi

DONG Chun-li, MENG Xiao-qin, LIANG Xiang-jun

(Seismological Bureau of Shanxi Province, Shanxi, Taiyuan 030002, China)

Abstract In order to see respective characteristics of analog and digital records from Dongshan Station of Taiyuan of Shanxi, a statistic analysis for the analog record data, from 1996 to 2001, and digital ones, from 2001 to May, 2003 is made. 3 kinds of representative seismic waveforms are picked up from selected local event records of 5.0 sec. It is very useful for recognizing small seismic activities accurately and for monitoring the seismic activity of Taiyuan basin.

Key words: Seismic waveform; Spectral analysis; Seismic record

(上接第 25 页)

Application of Chi-square Test in Period before Strong Earthquake of North China

WEI Chao

(Seismological Bureau of Jiaozuo City of Henan Province, Henan, Jiaozuo 454150, China)

Abstract Time and space tests for seismicities before 3 strong earthquakes in North China, by using the mathematical statistics of Chi-square test, combining seismotectonics such as active faults and focal mechanism solutions of North China. The results show that Chi-square test can reveal not only the swarming feature of earthquakes before medium and strong earthquakes, but also close relation between strong earthquakes and seismotectonic background.

Key words: Seismic frequency; Seismotectonics; Focal mechanism solution; Chi-square test

(上接第 6 页)

264 组异形词整理表(草案)

煞风景—杀风景

煞尾—杀尾

霎时—刹时

山巅—山颠

煽风点火—扇风点火

闪烁其词—闪烁其辞

尚方宝剑—上方宝剑

深省—深醒

什么—甚么

神父—神甫

省份—省分

拾遗补缺—拾遗补阙

仕女画—士女画

视域—视阈

誓词—誓辞

授予—授与

摔跤—摔交

水分—水份

水涨船高—水长船高

思辨—思辩

死乞白赖—死气白赖

夙愿—宿愿

素来—夙来

宿敌—夙敌

宿儒—夙儒

宿怨—夙怨

T

体己—梯己 t j i

题词—题辞

倜傥—傥傥

瞳仁—瞳人

褪色—退色

(下转第 41 页)

