

利用钻孔应变资料预报新疆伽师强震群

蒋靖祥 赖爱京 胡 群 徐衍冈

(新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐 830011)

摘要 介绍了利用钻孔应变资料预报 1997 年新疆伽师强震群的基本情况, 分析了钻孔应变异常的基本特点. 伽师地震前距震中 250 km 的乌什钻孔应变趋势变化一反常态并且短临阶段的应变值出现突跳.

主题词 新疆 应变观测 地震预报 伽师强震群

1 地震基本参数及特点

1997 年 1 月 21 日以来, 在新疆维吾尔自治区伽师县境内发生了地震记录史上罕见的强震群. 其中 $M_s \geq 6.0$ 地震 7 次, $6.0 > M_s \geq 5.0$ 地震 6 次. 表 1 列出了新疆地震台网测定的地震基本参数.

表 1 伽师地震群中 $M_s \geq 5.0$ 地震基本参数

序号	发震时间	震中位置		震级 (M_s)
		东经	北纬	
1	1997-01-21-09 47 10.5	77°02'	39°31'	6.2
2	1997-01-21-09 48 21.1	77°03'	39°35'	6.4
3	1997-01-29-16 20 14.3	77°01'	39°36'	5.2
4	1997-02-12-04 20 59.4	77°03'	39°37'	5.3
5	1997-02-21-21 29 12.4	77°02'	39°40'	5.0
6	1997-03-01-14 04 13.8	76°57'	39°34'	6.0
7	1997-04-06-07 46 16.3	77°02'	39°31'	6.4
8	1997-04-06-12 36 32.5	77°02'	39°33'	6.2
9	1997-04-11-13 34 43.5	76°58'	39°36'	6.6
10	1997-04-13-05 09 08.7	77°00'	39°33'	5.5
11	1997-04-16-02 19 09.4	76°58'	39°41'	6.3
12	1997-05-17-11 58 22.0	77°01'	39°32'	5.6
13	1997-06-24-17 24 45.5	77°01'	39°29'	5.1

根据表 1 及目前掌握的资料分析, 伽师强震群具有以下特点:

(1) 强震的发生在时间上高度密集, 在不到 3 个月的时间内连发了 7 个 $M_s \geq 6.0$ 地震.

(2) 在空间上强震密集分布, 13 次 $M_s \geq 5.0$ 地震震中分布在长不到 20 km, 宽不到 10 km 的很小范围内.

(3) 在地震群中, 6 级地震多, 5 级地震少.

(4) 地震发生在人们认为不易发生地震的塔里木盆地内.

(5) 震中区未见断裂穿过.

区域构造、台站分布及震中分布见图 1.

用现代地震学理论很难解释上述特点. 因此, 伽师强震群的发生给我们提出了新的课题和新的思索.

2 用钻孔应变资料预报伽师强震群

2.1 根据钻孔应变趋势异常判定强震发生背景

收稿日期: 1997-07-31
第一作者简介: 蒋靖祥, 女, 1956 年 2 月出生, 副研究员, 从事钻孔应力 应变预报地震研究.

图 2 为乌什台应变旬均值曲线. 其中曲线 a 为正常年变曲线, 是取正常年份资料用迭代法求得的. 曲线形态为正弦波形, 周期为 12 个月, 双振幅为 $7 \times 10^{-7} \sim 8 \times 10^{-7}$ 量级, 峰值相位在每年的 3 月份, 谷值相位在每年的 7 月底 8 月初. b 为实测曲线. c 为实测值减去正常年变值的残差曲线.

由图 2 可见, 自 1990 年以来, 应变测值共有两次偏离正常值. 第一次出现在 1990 年 10 月, 结束于 1992 年 4 月. 异常前期表现为振幅增大, 与正常值 (7.5×10^{-7}) 相比增大了 2.

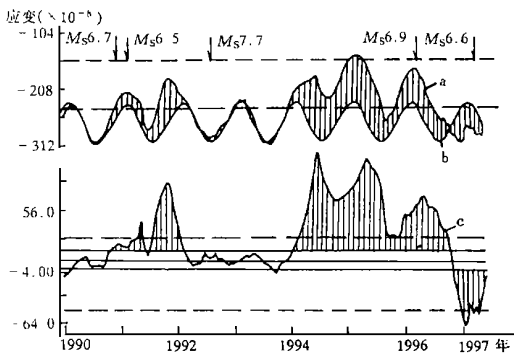


图 2 新疆乌什台钻孔应变旬均值曲线

Fig. 2 Ten-day mean value curves of drill-hole strain at Wushi station from 1990 to 1997.

a 正常年变曲线; b 实测曲线; c 残差曲线

km 处.

第二次异常始于 1993 年 11 月, 至 1997 年 6 月已持续了 3 年 8 个月. 其特点是:

(1) 振幅显著增大. 1995 和 1996 年振幅增大了 5.3×10^{-7} . 异常比为 70%. 这次异常增幅比历年都大.

(2) 1993 年 10 月~1996 年 9 月实测值高于正常值, 1996 年 9 月份以后实测值低于正常值. 前者表征着应变的积累, 后者预示着应变的释放.

(3) 周期发生畸变. 1994 年周期缩短为 8 个月, 1996 年周期缩短为 10 个月.

(4) 相位滞后. 1994 与 1995 年谷值相位滞后 1 个月, 1996 年滞后 6 个月. 峰值相位 1994 年滞后 3 个月, 1997 年提前了 1 个月. 自 1994 年以来, 在新疆地震局召开的多次地震趋势会商会上, 我们对乌什台应变异常都进行了分析, 认为该异常属地震前兆. 我们提出的预报意见“在乌什西南方向 200~300 km 范围内存在发生 6~7 级地震的可能性”被编入 1995, 1996 和 1997 年年度趋势会商报告中. 结果在 1996 年 3 月 19 日于乌什西南的阿图什发生了 $M_s 6.9$ 地震 ($\Delta = 240$ km). 事实表明上述判断是正确的. 1997 年伽师强震群震中也位于乌什台西南 250 km 处.

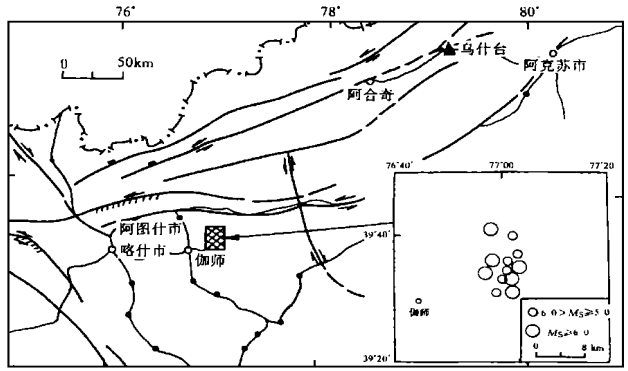


图 1 区域构造、台站及震中分布

Fig. 1 Distribution of regional structures, drill-hole strain station and epicentres in Jiashi area.

2×10^{-7} , 异常比 (残差与同期正常值之比) 约为 30%. 周期和相位正常. 在此期间发生了 1990 年 11 月 12 日吉尔吉斯斯坦境内的白沙龙 $M_s 6.7$ 地震 (震中距乌什台 240 km) 和 1991 年 2 月 25 日柯坪 $M_s 6.5$ 地震 (震中距乌什台 100 km). 异常的后半期表现为振幅明显增大, 最大双振幅为 1×10^{-6} , 比正常值增大了 4×10^{-7} . 异常比为 53%. 周期发生畸变, 1991 年的周期缩短为 9 个月, 1992 年的延长至 17 个月. 1991 年谷值相位提前两个月, 1992 年峰值相位提前 5 个月, 由 1992 年 3 月提前到 1991 年 11 月. 1992 年 8 月 19 日, 在吉尔吉斯斯坦共和国境内苏萨梅尔发生了 $M_s 7.7$ 地震, 震中位于乌什台北西方向 490

2.2 利用应变资料对伽师强震群进行短临预报

2.2.1 1997年 2月 21日伽师 $M_s5.0$ 地震及 3月 1日 $M_s6.0$ 地震的预报

在乌什台钻孔应变 3年多的趋势异常的背景上,尽管已发生了 1996年 3月 19日阿图什 $M_s6.9$ 地震和 1997年 1月 21日伽师 $M_s6.2, M_s6.4$ 地震,但应变异常依然存在.

1997年 1月 31日~ 2月 1日,乌什台应变 $N52^\circ E$ 元件出现了 1.56×10^{-6} 量级的张性突跳(图 3).这是自 1984年观测以来首次出现如此大量级的应变变化,经分析认定属短临异常.因此,1997年 2月 18日我们根据多年的研究及大量震例分析,提出在 1997年 2月 18日到 3月 21日,以阿合奇为中心 200 km 范围内将可能发生 $5.0 \leq M \leq 5.9$ 地震的预报意见.并正式填写了短临预报 A类卡片.

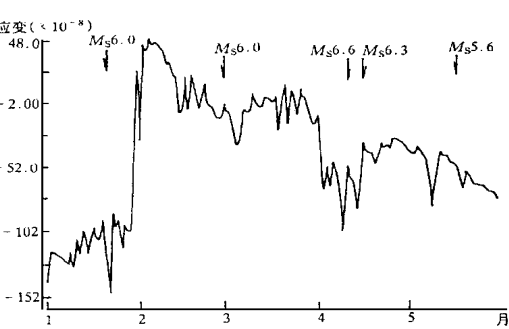


图 3 乌什台 1997 年应变日均值曲线

Fig. 3 Daily average value curve of drill-hole strain at Wushi station in 1997.

事实上,在预报意见提出后的第 3天发生了伽师 $M_s5.0$ 地震,第 11天发生了伽师 $M_s6.0$ 地震.震中位于乌什台西南 250 km 处,距预报中心点的阿合奇台 190 km.预报三要素均正确.

2.2.2 1997年 4月 6日伽师 $M_s6.4, M_s6.2$ 地震的临震预报

1997年 4月 3日乌什台钻孔应变日均值出现压性突跳,量级为 4.2×10^{-7} (图 3).在整点值图上,3月 19日,25日,4月 3日,应变整点值分别出现 $1.44 \times 10^{-6}, 1.8 \times 10^{-6}, 1.36 \times 10^{-6}$ 量级的压性突跳.

另外,距伽师 800 km 的库尔勒台应变整点值于 3月 9日出现指数曲线(图 4).据以往的震例分析,从指数曲线出现第 1天算起 1个月内将会发生地震.如 1987年 1月 24日乌什 $M_s6.4$ 地震前 12天乌什台钻孔应变,1993年 2月 3日和静 $M_s5.4$ 地震前 11天库尔勒台钻孔应变,1995年 3月 19日和硕 $M_s5.0$ 地震前 29天乌鲁木齐台钻孔应变,1996年 1月 9日沙湾南 $M_s5.6$ 地震前 28天库尔勒台钻孔应变均出现了指数曲线.因此,1997年 4月 4日 18时,我们提出“近几天内在伽师地区将可能发生 6级以上地震”的预报意见,并建议预报室填写临震预报卡.

1997年 4月 6日在伽师发生了 $M_s6.4$ 和 $M_s6.2$ 地震,预报三要素与实际发生地震三要素吻合.

2.2.3 1997年 4月 11日伽师 $M_s6.6$ 地震临震预报

乌什台应变日均值在 1997年 4月 3日出现压性突跳,幅度达 3.6×10^{-7} .正常情况下该日均值在 10^{-8} 范围内,因此认定应变出现明显的临震异常.乌什台应变整点值于 4月 8日 04时出现了量级为 1.38×10^{-6} 的压性突跳,4月 9日 06时突跳达 1.2×10^{-6} ,而在 10日零点突跳达 1.38×10^{-6} .在每次压性突跳之后,便是张性回弹,构成了张压交替变化的震前应变失稳性态.8日 04时到 10日 16时共出现 6次这种张压交替变化.我们认定属临震应变信息.

库尔勒台 $N45^\circ E$ 元件应变于 4月 5日出现指数曲线(图 5).4月 6日伽师 $M_s6.4$ 地震对指数曲线没有产生影响,表明仍有发生大震的可能性.

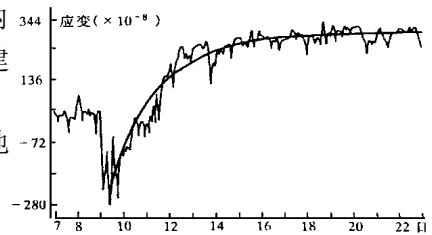


图 4 1997 年 3 月库尔勒台应变整点值曲线

Fig. 4 Curve of clock value of drill-hole strain at Kuerle station in March, 1997.

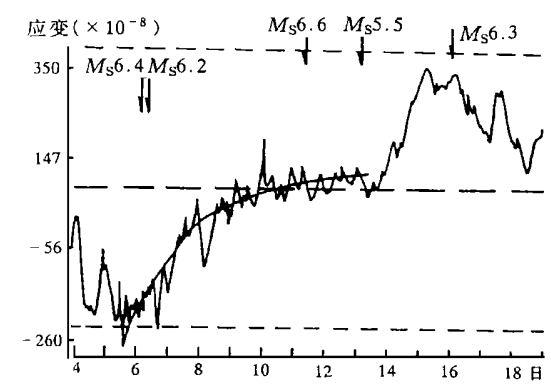


图 5 库尔勒台 1997 年 4 月应变整点值曲线
Fig. 5 Curve of o'clock value of drill-hole strain at Kuerle station in April, 1997.

完成了应变压-张交替变化的过程,进入应变能释放阶段,表明震情紧迫. 4 月 12 日 19 时,我们向有关部门汇报了异常情况并提出“1997 年 4 月 12 日~ 4 月 20 日在伽师震区很可能发生地震”的预报意见并填写了 A 类预报卡. 4 月 12 日晚 12 时,新疆地震局向伽师县震区发布临震预报,向国家地震局填报 1 周的临震预报卡. 4 月 13 日 03 时在伽师发生了 $M_s5.5$ 地震. 预报基本准确.

2.2.5 1997 年 4 月 16 日伽师 $M_s6.3$ 地震临震预报

1997 年 4 月 14 日乌什台应变日均值出现 1.8×10^{-7} 量级的异常变化,是正常变化的 10 倍. 应变整点值于 4 月 14 日 08 时出现 1.08×10^{-6} 量级的压性临震异常. 12 时张应变回弹, 16 时再下压 3.2×10^{-7} ,基本上完成了压-张过程. 另外,库尔勒台钻孔 $N45^\circ E$ 应变整点值在指数异常的背景上出现张性异常,表明应变能进入释放阶段. 据此,钻孔应变分析人员于 4 月 14 日作出了临震预报,预报意见为“1 周内将会发生地震”. 分析预报室根据我们提出的预报意见并结合地震序列等资料,从 14 日 18 时 30 分~ 15 日 01 时 30 分经过 7 个小时的分析讨论,对 4 月 16 日伽师 $M_s6.3$ 地震作出了准确预报.

2.2.6 1997 年 5 月 17 日伽师 $M_s5.6$ 地震临震预报

1997 年 5 月 17 日伽师发生了 $M_s5.6$ 地震. 震前 5 天,钻孔应变学科组作出了临震预报: 5 月 12 日~ 5 月 19 日,伽师地区很可能发生中强地震,保守估计震级为 5~ 6 级,不保守估计震级为 6 级左右. 预报依据是:

(1) 1997 年 5 月 7 日,乌什台应变整点值出现稳态压性变化,幅度为 1.8×10^{-7} . 5 月 9 日 12~ 14 时,应变整点值出现压性突跳,量级为 1.66×10^{-6} . 15~ 17 时出现张性反弹. 到 10 日 10 时,共出现了 5 次压-张交替变化,应变进入失稳阶段. 压应变幅度依次递减,由 1.66×10^{-6} 减至 1.06×10^{-6} . 但是,此压张过程持续时间仅 3 天,稳态下压幅度不够,且是在正常背景

此外,远场场兆亦比较明显. 距伽师 1 000 km 的乌鲁木齐台应变 E-W 元件日均值打破了与气压呈负相关的规律. 分析认为是场兆异常.

1997 年 4 月 10 日 19 时,我们提出“在 4 月 13 日之前伽师地震区可能发生 $6.0 \leq M \leq 7.0$ 地震”的预报意见. 结果于 4 月 11 日 13 时在伽师发生了 $M_s6.6$ 强震.

2.2.4 1997 年 4 月 13 日伽师 $M_s5.5$ 地震临震预报

4 月 11 日伽师 $M_s6.6$ 地震后,乌什台应变整点值张压交替变化剧烈. 12 日 04 时压应变剧增, 10 时增至 1.02×10^{-6} ,继之张应变回弹,

4 月 11 日伽师 $M_s6.6$ 地震后,乌什台应变整点值张压交替变化剧烈. 12 日 04 时压应变剧增, 10 时增至 1.02×10^{-6} ,继之张应变回弹, 14 时再下压 3.2×10^{-7} ,基本上完成了压-张过程. 另外,库尔勒台钻孔 $N45^\circ E$ 应变整点值在指数异常的背景上出现张性异常,表明应变能进入释放阶段. 据此,钻孔应变分析人员于 4 月 14 日作出了临震预报,预报意见为“1 周内将会发生地震”. 分析预报室根据我们提出的预报意见并结合地震序列等资料,从 14 日 18 时 30 分~ 15 日 01 时 30 分经过 7 个小时的分析讨论,对 4 月 16 日伽师 $M_s6.3$ 地震作出了准确预报.

1 周内将会发生地震”. 分析预报室根据我们提出的预报意见并结合地震序列等资料,从 14 日 18 时 30 分~ 15 日 01 时 30 分经过 7 个小时的分析讨论,对 4 月 16 日伽师 $M_s6.3$ 地震作出了准确预报.

2.2.6 1997 年 5 月 17 日伽师 $M_s5.6$ 地震临震预报

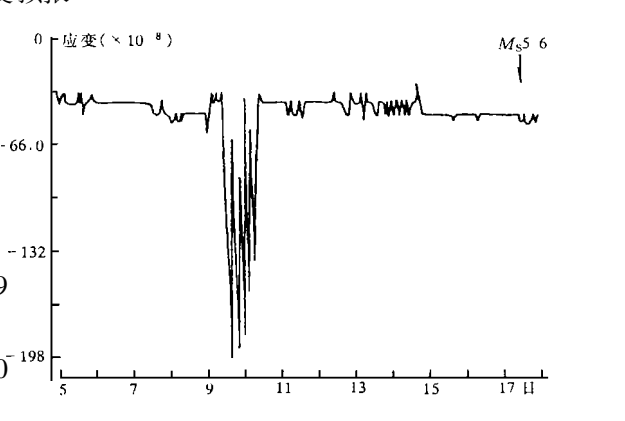


图 6 乌什台 1997 年 5 月应变整点值曲线
Fig. 6 Curve of o'clock value of drill-hole strain at Wushi station in May, 1997.

,由此判断震级不大(图 6).

(2) 1997年 5月 9日,乌什台应变日均值出现压性突跳,量级达 3.3×10^{-7} ,属临震异常.

(3) 库尔勒及乌鲁木齐台钻孔应变无明显异常,说明乌什应变异常是近场信息,波及范围不大.据此判断地震震级亦不大.

新疆地震局于 5月 13日作出临震预报“1997年 5月 13日~ 5月 19日伽师可能发生 6级左右地震”

2.2.7 1997年 6月 24日伽师 $M_s5.1$ 地震临震预报

1997年 6月 24日伽师发生 $M_s5.1$ 地震.震前 13天钻孔应变学科组提出“6月 12日~ 19日可能发生 $5.0 \leq M \leq 5.9$ 地震”.其依据是:

(1) 乌什台钻孔应变整点值于 6月 8日出现稳态压性变化,到 9日 10时,变化幅度达 3×10^{-7} . 9日 14时,出现张性突跳,幅度达 6.6×10^{-7} . 15~ 16时压应变突跳达 1.6×10^{-6} , 17~ 18时张应变突跳达 1.66×10^{-6} .这种张压交替的变化说明应变进入失稳阶段,临震异常已出现. 15日 07~ 12时,又出现了 3次压-张交替变化过程,最大幅度为 6.0×10^{-7} (图 7). 19日 15时,出现张性突跳,幅度达 3.0×10^{-7} .此时,压-张异常全过程结束.

(2) 乌什台应变日均值变化仅 1.3×10^{-7} ,量级不大,由此判断震级不大.

(3) 库尔勒和乌鲁木齐台应变没有明显的变化,说明震源应变场的波及范围不大,故而要释放的应变能亦不大,震级也不可能太大.

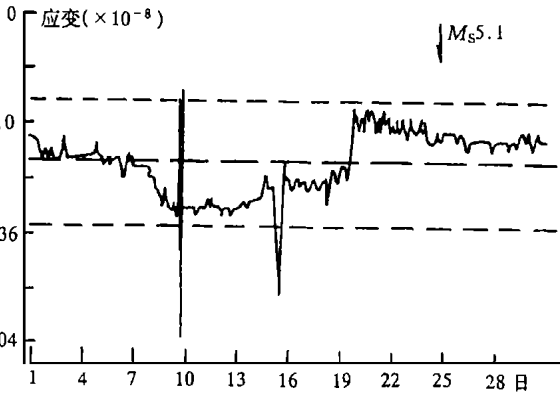


图 7 乌什台 1997年 6月应变整点值曲线
Fig.7 Curve of o'clock value of drill-hole strain
at Wushi station in June, 1997.

表 2 1997年新疆伽师强震群临震异常参数及预报情况

编号	异常出现时间	异常持续时间(天)	应变最大变化幅度($\times 10^{-6}$)	是否预报	预报震级(M_s)	实发震级(M_s)	预报时段	发震时间
1	01-08	13	1.50	无		6.2		01-21
				无		6.4		01-21
				有		5.0		02-21
2	01-31	30	2.78	有	5.0~ 5.9	6.0	02-18~ 03-21	03-01
				有		6.4		04-06
				有		6.2		04-06
4	04-08	3	1.44	有	6.0~ 7.0	6.6	04-10~ 04-15	04-11
5	04-12	1	1.02	有	5.0~ 6.0	5.5	04-12~ 04-20	04-13
6	04-13	3	1.08	有	6.0~ 6.9	6.3	04-14~ 04-21	04-16
7	05-07	4	1.66	有	5.0~ 6.0	5.6	05-12~ 05-19	05-17
8	06-07	13	1.50	有	5.0~ 5.9	5.1	06-12~ 06-19	06-24

综上所述,应变临震异常基本上是下降→.应变过程是压-张型,这一过程表明:

(1) 小幅度稳态持续性下压, 应变量为 10^{-7} ;

(2) 失稳性压-张交替变化, 幅度大, 一般为 10^{-6} , 持续时间短. 压应变表征应变积累, 张应变表征应变释放. 地震发生在张应变阶段. 指数曲线亦是重要的临震异常特点. 我们根据乌什台和库尔勒台的异常并结合乌鲁木齐台应变变化, 对伽师强震群的 9 次 $M_s \geq 5.0$ 地震作出了准确预报. 事实表明, 钻孔应变仪能够记录到震源传递到台站的应变信息. 因此, 利用应变资料能够对地震三要素作出较好的预报.

4

(1) 台站观测人员积极参与预报是作好预报工作的关键一环. 在伽师地震期间, 乌什台观测人员赖爱京, 对伽师地震的成功预报作出了重要贡献.

(2) 观测数据的快速传递最大限度地满足了分析预报工作的需要. 每天 18 时 30 分我们都可以收到乌什台的 16 时整点值数据, 这为作出临震预报提供了至关重要的依据. 例如, 4 月 14 日 18 时 30 分收到乌什台应变 14 日 16 时的数据, 08~10 时有一压应变突跳, 幅度为 1.08×10^{-6} , 16 时再次出现突跳, 幅度为 7.8×10^{-7} , 表明进入了压-张交替变化的临震失稳阶段, 我们于震前 10 小时及时地作出了临震预报.

(3) 长达几年的趋势异常是大震发生的必要背景条件. 乌什台 3.5 年的应变趋势异常是伽师强震群预报的可靠依据.

(4) 分析人员长期稳定, 并积累了大量经验, 这对伽师地震预报显得十分重要.

(5) 在这次伽师地震预报中, 我们对 1 月 21 日 $M_s 6.2$ 和 $M_s 6.4$ 地震, 1 月 29 日 $M_s 5.2$ 地震以及 2 月 12 日 $M_s 5.3$ 地震均没有作出预报. 这几次地震前应变日均值无明显异常, 但整点值图上异常很清楚. 由于整点值数据是每月报送一次, 二月上旬我们才收到一月份的数据, 因此, 未作出临震预报. 4 月 17 日, 我们根据乌什台应变突跳, 作出了一周内可能发生 6 级地震的预报, 但实际上没有发生地震, 造成一次虚报. 由此看来, 没有压应变过程的单点突跳是不足以作为临震异常的依据的. 因此, 在今后的地震预报中, 应及时收集整点值数据, 在进行临震预报时, 对于压应变过程的单点突跳应给以足够的重视.

PREDICTING THE STRONG EARTHQUAKE SWARM IN JIASHI OF XINJIANG UYGUR AUTONOMOUS REGION BY USING DRILL-HOLE STRAIN DATA

JIANG Jingxiang LAI Aijing HU Qun XU Yangang

(Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011)

Abstract

In this paper, several examples of predicting the Jiashi strong earthquake swarms in 1997 by using the drill-hole strain data are introduced and the primary characters of strain anomaly are analyzed. The results show that before the Jiashi swarms the trend change curves of drill-hole strain at Wushi station 250 km from the epicenter departed from their normal pattern and the short-imminent strain values changed suddenly.

Key words Xinjiang, Strain observation, Earthquake prediction, Jiashi strong earthquake swarms