

新疆及其邻区 $M \geq 7$ 强震的预测研究

门可佩

(江苏省地球物理学会, 南京210014)

摘要 新疆及其邻近地区 $M \geq 7$ 强震活动在时间分布上具有明显的有序性。自1716年以来的21次 $M \geq 7$ 强震存在着时间间隔为11、25、30、41和60年的有序值。利用强震活动时间的有序性结构, 可对该区7级强震进行预测探索。本文同时还应用熵和经验分布函数, 讨论了下次强震发生的地点和概率。

关键词: 新疆 有序性 熵 经验分布函数 强震发震概率

1 引言

新疆及其邻近地区是我国西北地震活动最为强烈的地区之一。著名的天山褶皱系、阿尔泰褶皱系和乌恰—帕米尔交汇区是新疆强震活动的三大主体, 强地震主要出现于新构造运动剧烈的隆起褶皱带与前缘拗陷之间或稳定地块之间的大断裂上以及一些构造盆地内^[1]。自1716年至今不过277年时间, 就发生7级以上强震21次(其中境外1次), 年频度约为0.076次/年, 其中8级大震4次(本世纪3次), 其强度之大、频度之高令世人瞩目(见表1和图5)。专家们认为, 90年代新疆、川滇藏等地有可能成为我国7级强震活动的主体地区^[2]。

强地震的时间分布看似杂乱无章, 但是地震的孕育和发生总是受其系统内在规律所支配。强地震按一定时间间隔重复出现的现象称之为有序性。徐道一、刘承昌应用有序性研究了我国大陆8级大震, 获得了一些重要结果^[3]。本文研究了新疆地区 $M \geq 7$ 强震在时间分布上的有序性, 并应用熵和经验分布函数讨论了强震发生的地点和概率, 以期探讨该地区7级以上强震活动的趋势预报。

2 $M \geq 7$ 强震时间分布的有序性

表1中的21次7级以上强震, 同一年中数次强震事件仅记为一个编号, 如此即有15个年号, 将其两两相减, 可得 $C_{15}^2 = 105$ 个时间间隔 τ 值, 它们构成了表2的上三角矩阵。

由统计方法, 以10年为一区把280年分成28个区, 分别求出各区 τ 值的频数 N , 画出 τ 值分布直方图(图1), 各区平均频数 $\bar{N} = 3.75$, $N \geq 8$ 的是第1、2、3、5、6和9区。当 $\tau > 90$ 年时, $N \leq 3$ 。同样, 再以20年为单位进行统计, 绘出图2。图2共分14个区, $N \geq 17$ 的是前3个区。由此二图明显可见, τ 值集中在前60年, 占总数的53.30%。这表明 τ 值分布不是随机的, 而是多周期的叠加组合。

在图1中, $N \geq 8$ 的6个区内, τ 值重复出现4次的有30年, 重复出现3次的有11、25、41、60年。同时, 在 $\tau = 30$ 年前后, 还有29年2次, 31年1次; 在 $\tau = 41$ 年之后, 尚有42年1次, 43年2次;

此外,在 $\tau=11,60,25$ 年前后还有10、12、59、61、24年各1次。这时我们可以记: $\tau_1=10\sim 12$ 年。

表1 新疆及其邻近地区 $M \geq 7$ 强震目录

序号	发震时间	时间间隔 (年)	震中位置		震级	地点
	年 月 日		°N	°E		
1	1716		43.2	81.2	7-8	特克斯
2*	1812-03-08	96	43°28'	83°47'	8	尼勒克
3	1842-06-11	30.27	43.6	93.0	7.5	巴里坤
4	1895-07-05	53.06	37.7	75.1	7	塔什库尔干
5	1902-08-22	7.13	39.9	76.2	8.25	阿图什
**	1902-08-30	0.022	37.0	78.0	7.5	和田西南
6	1906-12-23	4.31	43.5	85.0	8	沙湾南
7	1914-08-05	7.62	43.5	91.5	7.5	巴里坤
8	1924-07-03	9.91	36.8	83.8	7.25	民丰
	1924-07-12	0.025	37.1	83.6	7.25	"
9	1931-08-11	7.10	47.0	90.0	8	富蕴
	1931-08-18	0.019	47.0	90.0	7.25	"
10	1944-03-10	12.58	44.0	84.0	7.25	新源东北
	1944-09-28	0.55	39.1	75.0	7	喀什西南
11	1949-02-24	4.41	42.0	84.0	7.25	轮台
12	1955-04-15	6.14	39.9	74.6	7	乌恰
	1955-04-15	--	39.9	74.7	7	"
13	1974-07-05	19.22	45.2	93.9	7.1	巴里坤东北
	1974-08-11	0.10	39.3	73.8	7.3	乌恰
14	1985-08-23	11.04	39.2	75.3	7.4	"
*** 15	1990-06-14	4.81	47.9	84.4	7.3	哈萨克斯坦斋桑

* 据杨章等:1812年3月8日新疆尼勒克8级大震,《西北地震学报》,7(1)1985

** 据张相民:1902年以来我国部分强震仪器记录资料补遗,《地震》,(6)1983

** 该地震距我国边境仅30多公里,故选入样本。

表2 新疆及其邻近地区强震($M \geq 7$)的时间间隔(τ)值分布

序号	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
No.	1812	1842	1895	1902	1906	1914	1924	1931	1944	1949	1955	1974	1985	1990
1 1716	96	126	179	186	190	198	208	215	228	233	239	258	269	274
2 1812	--	30	83	90	94	102	112	119	132	137	143	162	173	178
3 1842		--	53	60	64	72	82	89	102	107	113	132	143	148
4 1895			--	7	11	19	29	36	49	54	60	79	90	95
5 1902				--	4	12	22	29	42	47	53	72	83	88
6 1906					--	8	18	25	38	43	49	68	79	84
7 1914						--	10	17	30	35	41	60	71	76
8 1924							--	7	20	25	31	50	61	66
9 1931								--	13	18	24	43	54	59
10 1944									--	5	11	30	41	46
11 1949										--	6	25	36	41
12 1955											--	19	30	35
13 1974												--	11	16
14 1985													--	5

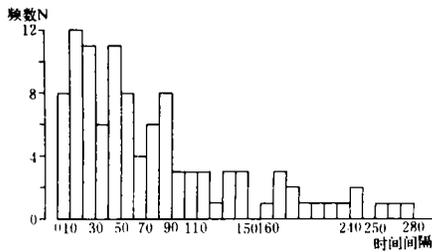


图1 τ 值频数分布直方图(0~280年)
(单位:10年)

Fig. 1 Histogram of frequency distribution of τ values in the range from 0 to 280 years (unit: 10a).

$\tau_2 = 24 \sim 25$ 年, $\tau_3 = 29 \sim 31$ 年, $\tau_4 = 41 \sim 43$ 年, $\tau_5 = 59 \sim 61$ 年。如果我们将1924年民丰双震、1955年乌恰双震以及1931年富蕴主余震均算作一次强震事件,则表1强震样本总数为

18。这样, τ_1 涉及12个强震样本, 占总数的66.7%(12/18); τ_2 涉及9个强震, 占总数的50%(9/18); τ_3 涉及14个强震, 占77.8%(14/18); τ_4 涉及13个强震, 占72.2%; τ_5 涉及12个, 占66.7%。均超过总样本量半数以上, 因此这些时间间隔蕴含着特殊的信息。

进一步研究, 不难发现上述有序值之间存在以下关系: $\tau_5 \approx 2\tau_3$, $\tau_4 \approx \tau_1 + \tau_3$, 这表明 τ_5 、 τ_4 似不独立, 它们为 τ_1 、 τ_3 的线性组合。

上述5个有序值中, τ_3 、 τ_4 具有较大的优势分布, 应予特别关注。下面给出几个例子:

- [例1] 1974年(第13号) $\xrightarrow{+11\text{年}}$ 1985年
- 1955年(第12号) $\xrightarrow{+30\text{年}}$ 1985年
- 1944年(第10号) $\xrightarrow{+41\text{年}}$ 1985年
- 1924年(第8号) $\xrightarrow{+61\text{年}}$ 1985年
- } 第14号乌恰 7.4级地震

- [例2] 1944年(第10号) $\xrightarrow{+11\text{年}}$ 1955年
- 1931年(第9号) $\xrightarrow{+24\text{年}}$ 1955年
- 1924年(第8号) $\xrightarrow{+31\text{年}}$ 1955年
- 1914年(第7号) $\xrightarrow{+41\text{年}}$ 1955年
- 1895年(第4号) $\xrightarrow{+60\text{年}}$ 1955年
- } 第12号乌恰 7级双震

[例3] 1812年(尼勒克8级) $\xrightarrow{+30\text{年}}$ 1842年(巴里坤7.5级) $\xrightarrow{+60\text{年}}$ 1902年(阿图什8 $\frac{1}{4}$ 级) $\xrightarrow{+29\text{年}}$ 1931年(富蕴8级) $\xrightarrow{+59\text{年}}$ 1990年(斋桑7.3级)。

本世纪以来, 我国大陆西部强震活动经历了由平静到活跃的4个轮回, 1985年后又进入第5个轮回的活跃幕。图3、图4给出了5个活跃幕中各有序值相应地震对之间的序关系。从中可发现许多有趣现象: 由图3看出, τ_3 既在相邻幕间传递, 又隔幕传递, 例如1895 $\xrightarrow{\text{隔幕}}$ 1924(二幕) $\xrightarrow{\text{邻幕}}$ 1955(三幕) $\xrightarrow{\text{隔幕}}$ 1985(五幕) \rightarrow 2015? 再如, 1914(一幕) $\xrightarrow{\text{隔}}$ 1944(三幕) $\xrightarrow{\text{邻}}$ 1974

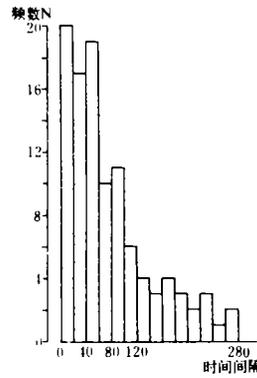


图2 τ 值频数分布直方图(0~280年)
(单位:20年)

Fig. 2 Histogram of frequency distribution of τ values in the range from 0 to 280 years (unit: 10a).

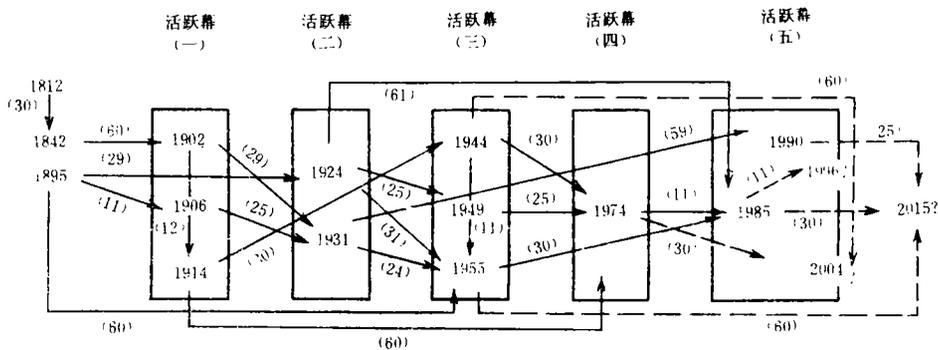
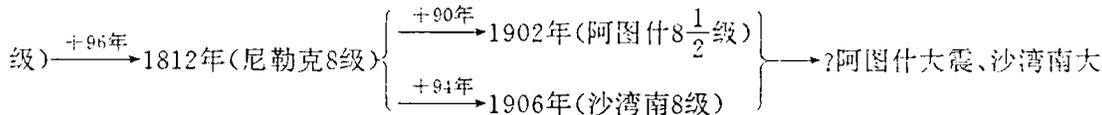


图3 各τ值地震对之间的关系

Fig. 3 Relation between the pairs of earthquakes with the values of (τ).

(四幕)→2004?τ₅大于完整的轮回长度,故仅隔幕发生;τ₂既将(一)(二)(三)幕串联,又将(二)(三)(四)幕(1924—1949—1974)串联;τ₁在幕间发生,也在(一)和(三)幕内发生,会不会又在(五)幕内重现呢?再看图4中的τ₄,它隔幕活动,将奇数幕(一)(三)(五)串联成非常规则的“三线九点阵”,前八点已经各就各位,这第九点是否会在既定的时刻(1996~1998年)亮相?

另外,该地区8级大震似有90多年重现周期的规律(约为3τ₃),为:1716年(特克斯7—8



震迄今分别为91年和87年,下次大震还会按时登场吗?

鉴于以上分析,应用强震时间间隔的有序性,可进行中长期强震预测和趋势估计:

- (1) {
 - 1955年(第12号乌恰地震) +41年 -> 1996年
 - 1985年(第14号乌恰地震) +11年 -> 1996年
 - 1906年(第6号沙湾南地震) +90年 -> 1996年

- (2) {
 - 1974年(第13号乌恰地震) +30年 -> 2004年
 - 1944年(第10号乌恰地震) +60年 -> 2004年
 - 1914年(第7号巴里坤地震) +90年 -> 2004年

- (3) {
 - 1990年(斋桑7.3级地震) +25年 -> 2015年
 - 1985年(第14号乌恰地震) +30年 -> 2015年
 - 1974年(第13号乌恰地震) +41年 -> 2015年
 - 1955年(第12号乌恰地震) +60年 -> 2015年

这就是说,新疆及其毗邻地区 M≥7强震有可能发生在1996、2004、2015年前后三个时段。

3 应用熵分析强震发生的地点

众所周知,熵是随机试验不确定性的一种度量.熵越大,随机试验结果的不确定性就越大;反之,熵越小,随机试验结果的不确定性便越小.

定义:设某分类 $\theta = (k_1, k_2, \dots, k_n)$ 且 $p_i = p(k_i) (i=1 \dots n)$, 则称

$$H(\theta) \triangleq - \sum_{i=1}^n p_i \lg p_i \text{ (哈特)} \dots \dots \quad (1)$$

为分类 θ 的熵.

表3

预报区号	1	2	3	4	5
预报区	北部	北天山	南天山	乌恰	西南部
频 度	3/21	7/21	1/21	6/21	4/21

新疆及其毗邻地区 $M \geq 7$ 强震主要分布在天山地震带、乌恰交汇区和西南部(见图5). 自北向南将新疆划分为5个预报区.表3统计出各区所发生的强震的频度.由于未来 $M \geq 7$ 强震将在5个预报区之一中发生,因此强震样本总数增加1,相应的频度行向量为:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= (4/22, 7/22, 1/22, 6/22, 4/22) \\ \theta_2 &= (3/22, 8/22, 1/22, 6/22, 4/22) \\ \theta_3 &= (3/22, 7/22, 2/22, 6/22, 4/22) \\ \theta_4 &= (3/22, 7/22, 1/22, 7/22, 4/22) \\ \theta_5 &= (3/22, 7/22, 1/22, 6/22, 5/22) \end{aligned}$$

这样,由(1)式可算出: $H(\theta_1) = 0.6423, H(\theta_2) = 0.6273, H(\theta_3) = 0.6594, H(\theta_4) = 0.6300, H(\theta_5) = 0.6373$. 由于 $H(\theta_2) = \min \{H(\theta_i)\} (i=1 \dots 5)$, 从而可以估计下次 $M \geq 7$ 强震发生在2区,即北天山地震带的可能性最大,4区次之.

乌恰震区自1985年7.4级地震后,总的趋势逐年减弱,且从未有过连续三次间隔11年左右的7级强震史,故而第一预测时段1996年前后在4区发震的可能性不大,而在第二预测时段2004年前后发生7级强震的可能较大^[4].

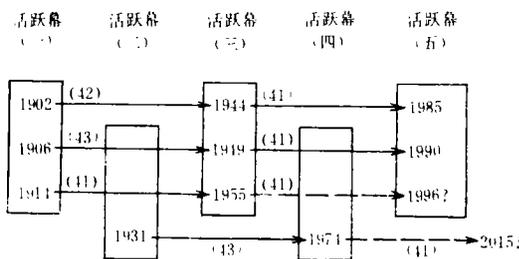


图4 τ 值地震对之间的关系

Fig. 4 Relation between the pairs of earthquakes with the values of (τ_i) .

4 经验分布函数与发震概率估计

现在我们换一个角度讨论该地区 $M \geq 7$ 强震时间间隔问题.将表1中发震时间化为以年为单位(按每月30天、每年360天计),相邻两次地震时间相减便得19个间隔值,列于表1第3列.这里的时间间隔与有序性分析不同,是不重叠的.对于离散型随机变量,如已知其概率分

布,则易求出它的分布函数,事实上根据概率加法定理:

$$F(x) = P(\xi \leq x) = \sum_{x_i \leq x} P(\xi = x_i) = \sum_{x_i \leq x} p(x_i) \quad (2)$$

当 x 在离散随机变量 ξ 的两个相邻的可能值之间变化时,分布函数 $F(x)$ 的值保持不变;当 x 经过 ξ 的任一可能值 x_i 时, $F(x)$ 的值总是跳跃式增加,其跃度等于概率 $p(\xi = x_i)$,而概率可用频率来近似。将上述强震时间间隔样本视为总体的独立观测值并从小到大排列,则不大于 x 的观测值频率为 k/n ,因而经验分布函数则为

$$F_n(x) = \begin{cases} 0 & x < x_1 \\ k/n & x_k \leq x < x_{k+1} \\ 1 & x \geq x_n \end{cases} \quad (k=1 \cdots n-1) \quad (3)$$

其图形是一台阶形(图6),图中曲线为总体分布函数 $F(x)$ 的近似图形。由格利文科(W. Glivenko)定理,当 $n \rightarrow \infty$ 时, $F_n(x)$ 依概率1级收敛于 $F(x)$ 。因此,当样本数 n 较大时,样本分布函数可较好地近似总体分布函数^[5]。这就是我们用样本推断总体的依据。

从图6可大略估计该地区 $M \geq 7$ 强震的危险性。当 $\Delta T = 6 \sim 8$ 年, $F \approx 0.5 \sim 0.6$,也就是说,1985年8月乌恰7.4级和1990年6月斋桑7.3级地震后,直到1996或1998年,该区再次发生7级以上强震的累计概率为0.5~0.6。

若采用非线性最小二乘法拟合幂函数,可以较好地拟合该区7级强震时间间隔曲线,经微机运算得:

$$F = 0.3295 \cdot (\Delta T)^{0.2679} \quad (4)$$

式中 F 为累计发震概率, ΔT 为时间间隔(设 $\Delta T \leq 96$ 年),均方拟合误差 $\sigma = 0.0847$,由(4),

当 $\Delta T = 4$ 年, $F(1994) = 0.48$,即自1990年6月以来至1994年6月,累计发震概率为0.48;仿此,当 $\Delta T = 5$ 年, $F(1995) = 0.51$;当 $\Delta T = 6$ 年,则 $F(1996) = 0.53$;当 $\Delta T = 8$ 年, $F(1998) = 0.58$ 。综上所述,直至1996年或1998年新疆及其邻区发生 $M \geq 7$ 强震的累计概率将达到0.53~0.58。

5 结语

(1) 新疆及其毗邻地区 $M \geq 7$ 强震活动,在时间分布上具有明显的有序性,其有序值为11、25、30、41和60年,其中以30、41年间隔占有优势分布。

(2) 这种一定强度的地震序列内部所蕴含的有序性结构,可成为开展强震预测预报的重要手段。有序性

分析的结果表明,新疆及其邻区 $M \geq 7$ 强震在1996、2004、2015年前后的三个时段均有可能

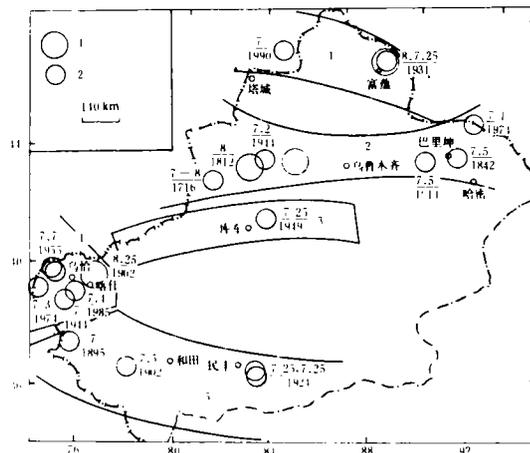


图5 新疆及其邻近地区 $M \geq 7$ 强震震中分布 (1716-1993) 及趋势预报分区
1. $M \geq 8$; 2. $M \geq 7$

Fig. 5 Distribution of strong earthquakes ($M \geq 7$) from 1716 to 1993 and division of trend prediction in Xinjiang and nearby area.

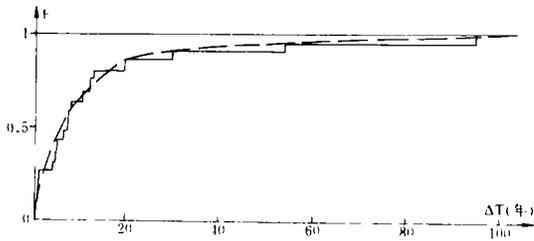


图6 新疆及其邻近地区 $M \geq 7$ 强震样本经验分布函数图

Fig. 6 Exponential distribution function of time intervals of strong earthquakes ($M \geq 7$) in Xinjiang and nearby area.

之间存在“半序”关系，即部分明确，部分不明确。而地震系统是一开放的能量系统，属于非本征灰色系统^[6]，它的灰结构决定了系统的整体行为特征处于有序与混沌之间，即系统的功能或响应有一定的规律或特征，但又不具有确切的规律。强震时间间隔分布的非随机非规则，在无序之中夹杂着较强有序性的这种组合现象，正是灰结构的结果。一个物理系统在不同状态下将表现出不同的结构。耗散结构的创始人 H. 普里高津以六角形对流花纹—巴纳德花纹为例，令人折服地回答了开放系统如何从无序走向有序的问题^[7]。

地震的孕育和发生极为复杂，实现地震预报的道路还很漫长。目前关于有序性的机理尚不够明晰，许多问题有待于进一步研究探讨，但是它对强震预报的重要作用则是毋庸置疑的。

(本文1994年1月10收到)

参考文献

- 1 中国科学院地质研究所：《中国地震地质概论》，北京，科学出版社，1974，132~136
- 2 张国民等：我国西部及中亚地区地震形势分析，《中国地震趋势预测研究》(1990年度)，北京，地震出版社，1989，240~244
- 3 徐道一等：中国大陆8级大震的有序性—一种新的预测方法，《地震地质》，13(2)1991；231~236
- 4 门可佩：乌恰—帕米尔地区强震的灰色预测研究，《地震》，(5)，1992：39~40
- 5 浙江大学数学系高等数学教研组：《概率论与数理统计》，北京，人民教育出版社，1979，211~213
- 6 邓聚龙：《灰色控制系统》，武汉，华中理工大学出版社，1985，1~7
- 7 尼科里斯、普里高津著，罗久里、陈奎宁译：《探索复杂性》，成都，四川教育出版社，1986，1~44
- 8 新疆维吾尔自治区地震局：《新疆维吾尔自治区地震资料汇编》，北京，地震出版社，1985

发生。根据熵和统计分析方法，到1996或1988年6月，累计发震概率约为0.5~0.6，其震中可能位于北天山地震带；在第二预测时段的2004年前后，则可能发生在乌恰震区内。

(3) 现代系统论认为，结构是系统内部各要素之间相互联系、相互作用的方式或秩序。结构是系统的基本属性，系统的结构决定了系统的功能。“白”的结构，其系统要素的关系是确定的，秩序分明；反之称为“黑”或“混沌”结构。所谓灰色结构则是系统要素

STUDY ON PREDICTION OF STRONG EARTHQUAKES($M \geq 7$)
IN XINJIANG AND NEARBY AREA

Men Kepei

(*Geophysical Society of Jiangsu Province, Nanjing 210014*)

Abstract

The repeated occurrence of time interval value is defined as temporal orderliness. Seismic activity($M \geq 7$) in Xinjiang and nearby area possesses the temporal orderliness. 21 events($M \geq 7$) since 1716 have occurred at intervals of 60, 41, 30, 25 and 11 years. These values of orderliness can be used to predict the future $M \geq 7$ earthquakes. By using entropy and experiential distribution function, we discuss the location and probability of the next strong earthquake. The result shows that there will be possibility of the occurrence of $M \geq 7$ earthquakes during 1996, 2004 and 2015 in Xinjiang and nearby area.

Key words: Xinjiang. Orderliness. Entropy, Experiential distribution function. Probability of strong earthquake

(上接第28页)

BRIDGMAN EFFECT INDUCED BY INTERACTION
BETWEEN FAULTS AND ITS ROLE IN EARTHQUAKE OCCURRENCE

Guo Anning

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

Abstract

In high confining pressure, Bridgman effect makes fault slip easier. Therefore Bridgman effect plays a role for helping earthquake to occur.

Several types of Bridgman effects induced by interaction between faults have been discussed. Taking the 1931 Fuyun $M=8$ earthquake as an example, the role of Bridgman effect in earthquake occurrence has been discussed.

Key words: Bridgman's effect, Fault interaction