

松潘—平武地震前地震视应变场的时空演变

张彬, 杨选辉, 易志刚

(中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085)

摘要:利用松潘—平武周边地区的地震资料研究了1970—1975年该地区地震视应变场的分布和时空变化特征。结果表明,地震视应变的时空变化与松潘—平武强震具有很好的对应关系,1970年在附近就出现异常区,并且地震视应变总体上逐年增加,地震就发生在地震视应变异常区。

关键词:视应变;地震矩;地震能量;松潘—平武地震

中图分类号: P315.72⁺7

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2007)03-0235-05

Time-space Evolution of the Seismic Apparent Strain Field before Songpan—Pingwu Earthquakes

ZHANG Bin, YANG Xuan-hui, YI Zhi-gang

(Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085, China)

Abstract: The distribution and space-time change characteristics of the seismic apparent strain field in Songpan—Pingwu and the adjacent areas since 1970 to 1975 are studied, using the seismic data of this region. The result shows that there is a rather well corresponding relationship between the anomalous region of seismic apparent strain and the Songpan—Pingwu earthquakes in 1976. The anomalous region appeared in 1970 and the strain values increased year by year, the events occurred just in the anomalous region.

Key words: Apparent strain; Seismic moment; Earthquake energy; Songpan—Pingwu earthquake

0 引言

目前研究地壳应力应变场的方法很多,主要是利用地震学、地质学和大地测量学等不同领域资料分析获得。虽然通过不同资料得到的应力应变场结果有很大差别,但它们都能够在一定程度上反映地壳应力应变场的时空分布。黄福明等对全国1955年以来31次强震事件与其对应的地震视应变异常区场的时空演化加以对比,结果表明,在1~5年左右的时间范围内地震视应变异常区与强震事件发生地区存在相当好的对应关系^[1]。钟羽云等研究中国大陆地震发现不同震型、不同断层性质地震的震级和地震矩之间具有不同的关系^[2]。王卫东等利用西安数字地震台网的宽频带数字地震记录计算了陕西中、南部地震的视应力水平,并讨论了泾阳5.2级地震前后地震视应力的时间变化特征及视应力与震级

的关系^[3]。王辉等利用多种地震学参数研究了中国大陆地壳应变场^[4]。松潘—平武于1976年8月16日、22日和23日分别发生了7.2、6.9和7.2级地震。本文研究了松潘—平武地震前地震视应变场的时空变化情况,并且结合其它前兆信息讨论地震预报的可能性。

1 研究方法

1.1 地震视应变的概念及计算方法

在地震学中可以用视应变作为震源区平均剪切应变下限的估计,反映了地震发生时弹性应变的相对释放水平,表征了震源区的应变场环境,大量地震视应变的空间分布也表征地震释放应变的水平。地震视应变的定义为^[5-6]

$$\delta = \frac{E_s}{M_0} \quad (1)$$

其中 E_s 为地震波辐射能量; M_0 为地震矩。 E_s 和 M_0 可以通过地震波形的分析和反演得到。 20 世纪 80 年代以来, 随着宽频带数字地震学的发展, E_s 和 M_0 的测定开始成为一些地震学观测与研究的常规工作^[7]。 自 20 世纪 70 年代末期, 哈佛大学开始测定并发布矩心矩张量(CMT)测定结果, 提供了包含全球大约 5.5 级以上地震的震源深度、面波震级、体波震级和矩心矩张量等参数的“现代地震目录”。 美国国家地震信息中心(NEIC)提供了包括全球 5.5 级地震的全球宽频带辐射能量。

1.2 计算地震能量

美国国家地震信息中心(NEIC)的宽频带辐射能量的测定使用远震宽频带体波资料, 早期曾在《美国地震学会会刊》上的地震报告中发表。 近年来改在美国地震学会的《地震学研究通讯》上发表。 NEIC 目录中的地震事件数目有限, 从 1987 年至 2004 年 12 月包含了 2 000 多个地震事件, 在中国大陆地区仅有 50 个左右的记录, 所以我们能够利用的地震很少。 古登堡 1945 年提出了地震波能量和震级的关系^[8]:

$$\lg E_s = aM + b \quad (2)$$

不同学者根据不同的地区得出不同的 a 、 b 值。 王辉等人根据 NEIC 宽频带辐射能量和中国大陆地震实际情况拟合出了地震震级和地震波能量之间的关系^[4]:

$$\lg E_s = 1.53(\pm 0.03)M_s + 4.04(\pm 0.20) \quad (3)$$

1.3 计算地震矩

目前计算地震矩的算法很多, 主要是从体波、面波和自由振荡的远场波形中获得地震矩张量。 哈佛 CMT 的测定主要是使用远震长周期体波资料和地幔波资料, 在 Internet 上可以得到数字化的 CMT 目录。 自 1976 年以来哈佛 CMT 目录共给出中国大陆近 300 个有面波震级的地震矩张量测定结果。 由于历史地震记录只记录了地震事件的时间、位置及震级等参数, 为了利用中国大陆历史地震资料研究地壳应变场, 必须建立地震标量矩与震级 M_s 的统计关系式。 王辉等人采用最小二乘法, 利用哈佛大学发表的 CMT 结果, 拟合出适合中国大陆地区的标量地震矩 M_0 与面波震级 M_s 统计关系^[4]:

$$\lg M_0 = A + BM_s \quad (4)$$

式中 A 、 B 为拟合系数(表 1)。 本文采用的值: $A = 12.51$; $B = 0.93$ 。

表 1 标量地震矩与中国地震目录面波震级的统计关系^[4]

地区	修正的 A	修正的 B	地区	修正的 A	修正的 B
东北	12.77	0.84	华北	12.29	0.93
华南	11.52	1.08	西域	12.91	0.84
青藏	12.55	0.91	滇缅	12.51	0.93
中国大陆	12.58	0.90			

1.4 震级换算

在计算地震波能量 E_s 和地震矩 M_0 时需要的是面波震级 M_s , 而中等地震地震目录的震级为近震震级 M_L , 需要把 M_L 换算成 M_s 。 换算公式为^[9]:

$$M_s = 1.13M_L - 1.08 \quad (5)$$

利用地震学资料把式(5)结果代入式(3)、(4), 然后把上两个公式计算结果代入式(1)即可求得视应变 δ 。 整个计算过程是基于 MATLAB 程序实现的^[10]。

2 资料选取

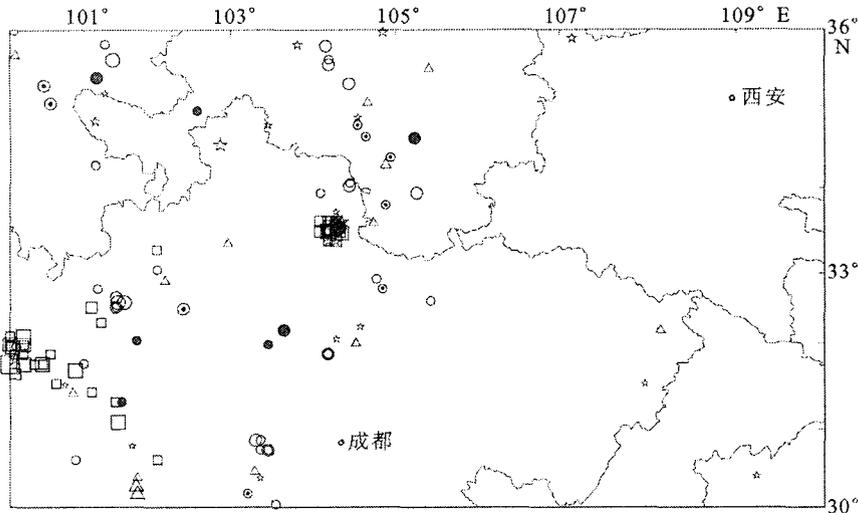
本文采用的地震资料主要来自于中国地震局分析预报中心编制的《中国地震目录》。 震级为 M_L , 所选震级范围为 3.5~6.0。 由于计算需要以 3 年为窗口、1 年与 1 平方度为时空步长, 逐步滑动, 所以研究范围选为 30°—35°N, 100°—110°E。 从 1970 至 1975 年每年地震分布如图 1 所示。

3 计算结果及其讨论

地震应变相对释放的强度与范围只有达到一定的程度时, 才能预示异常区内或其附近地区发生强震或大震^[1]。 换言之, 地壳介质的局部破裂(含原有断裂带的进一步扩展)只有形成一定规模后, 大的破裂才可能发生。 为了便于定量研究与识别判定, 把每个平方度内地震视应变滑动累加值 $\epsilon_{\Sigma} = 0.3 \times 10^{-5}$ 作为该地区的地震视应变异常边界值, 在空间上要求围成的面积 ≥ 1 平方度。 若相邻两次强震发生的时间间隔较短, 而且距离较近, 则两次地震视应变异常区可以重叠或相连。

松潘—平武地震前视应变异常区形成及演化过程如图 2。 该地震前地震视应变异常区于 1970 年形成, 中心区在甘肃境内, 中心值达 0.41×10^{-5} , 异常区外包络线距松潘约 200 km; 然后异常区面积逐年增大, 并且向南迁移; 到 1973 年异常区范围扩展到四川省北部, 地震视应变值也逐年增大; 1975 年异常区内中心值达 0.63×10^{-5} 。 1976 年在该异常区内发生了两个 7.2 级强地震。 图 2(a)、(b)、(c) 三个图中左边的异常区是 1970 年 9 月 5 日和 11 月 8 日壤塘两个 5.5 级地震及其余震释放的地震视应

变。作者曾研究了 1970 年以来云南地区地震视应变场的分布和时空演化特征,结果表明云南地区地震视应变的时空演变与强震具有较好的对应关系。在所研究的 9 个强震中,8 个震前出现地震视应变异常区,5 个发生在异常区内,3 个发生在异常区附近(表 2)^[11]。



空心圆代表1970年地震震中分布;中心点圆代表1971年地震震中分布;空心三角形代表1972年地震震中分布;空心四边形代表1973年地震震中分布;空心五角形代表1974年地震震中分布;实心圆代表1975年地震震中分布

图 1 研究区每年地震震中分布图(1970—1975 年)

Fig. 1 Annual epicenter distribution from 1970 to 1975 in the research area.

表 2 强震发生前地震视应变异常区时空演变情况^[11]

强震情况			异常区及视应变值的变化情况				异常区出现至发震时刻的时间间隔/年	震中到异常区外包络线的距离
地点	年份	震级 /M	异常区出现的年份	异常区范围变化情况	震中到异常区中心变化情况	地震视应变值变化情况		
通海	1970	7.8	1966	先增大后减小	越来越远	先增大后减小	4	边缘地区
大关	1974	7.1						
龙陵	1976	7.3 7.4	1972	先增大后减小	越来越近	先增大后减小	4	异常区内
普洱	1979	6.8	1976	稳定发展后减小	越来越近	稳定发展后减小	3	异常区内
澜沧耿马	1988	7.2 7.6	1983	先增大后减小一直离中心较近		稳定发展	5	异常区内
永胜	1992	6.8 6.9	1988	稳定发展	变化不大	先增大后减小	4	边缘地区
孟连	1995	7.3	1991	稳定发展	越来越近	先增大后减小	4	异常区内
丽江	1996	7.0	1992	先增大后减小	变化不大		4	边缘地区
姚安	2000	6.5	1998	稳定发展	变化不大		2	异常区内

虽然计算地震视应变的地震矩和能量这两个物理量是由震级出发拟合公式估算,计算结果存在一定误差,并且这两个参数也不是相互独立。但它们是根据最新研究结果拟合而成,相对由经验公式计算的视变更接近中国大陆实际,并且很好的利用了历史地震。最主要的是地震视应变的计算结果在很大程度上反映了松潘—平武地区地壳应变水平,并且地震视应变场的分布和时空演化与强震具有很好的对应关系。

根据地震目录(震级 $M_s \geq 3$) 资料计算出从

1970 到 1975 年所研究范围总视应变为 13.77×10^{-5} (图 2(a)、(b)、(c) 中西部视应力调整区除外),平均每年的视应变为 2.30×10^{-5} 。从每年总地震视应变的变化(图 3)中可以看出,从 1970 年至 1975 年总的趋势是视应变在递增,从 1972 年到 1973 年增加很大。

利用地震视应变异常区可以圈定一定范围的强震危险区。在此基础上结合地震地质条件、地球物理环境、构造应力场以及中期前兆异常的时空分布,进一步勾画出可能发生强震的地区,可以提高预测

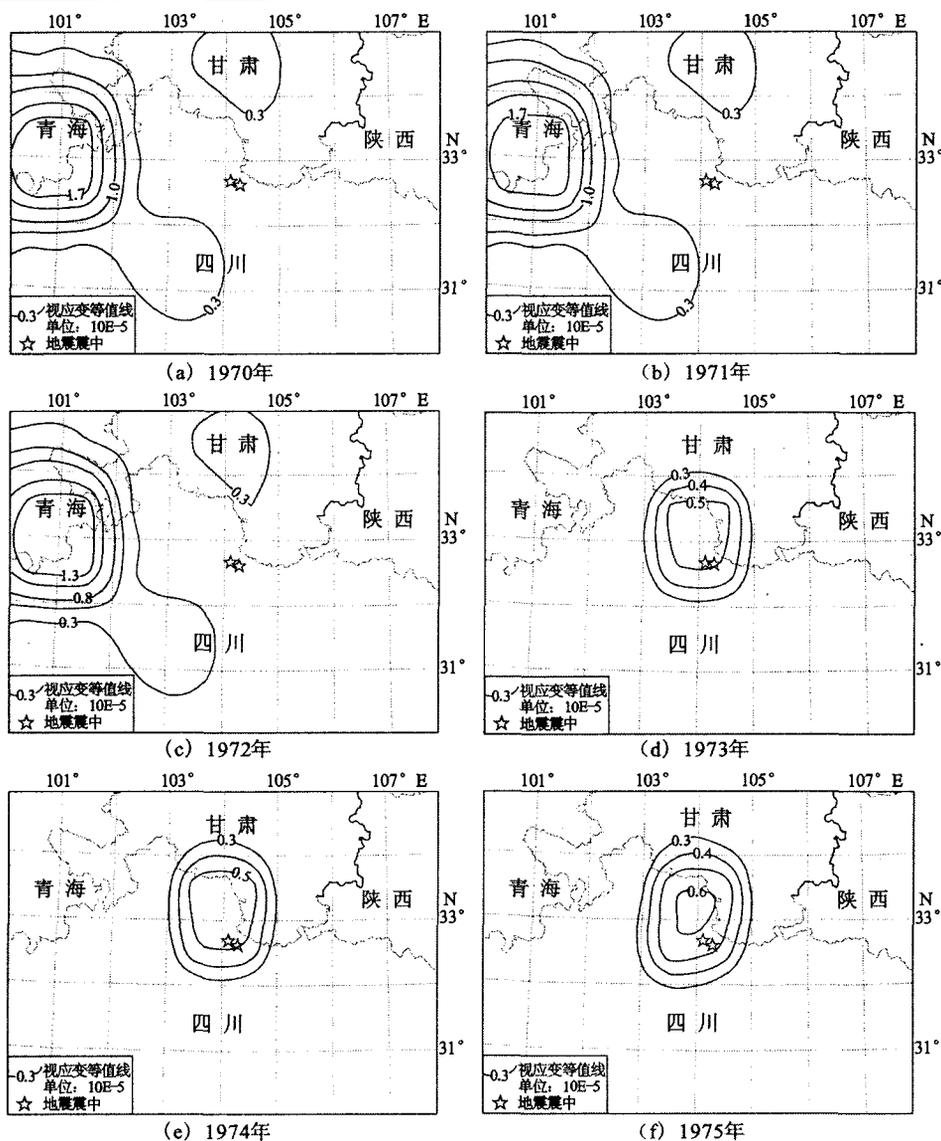


图 2 松潘—平武地震震前地震视应变异常区时空演变图

Fig. 2 Time-space evolution of anomalous region of seismic apparent strain before Songpan—Pingwu earthquakes.

发震地点的准确度。松潘—平武地震震区自北而南由近 SN 向的岷江断裂、NEE 向的雪山断裂、NNW 向德虎牙断裂和 NEE 向的平武断裂组成。这个地震就发生在 NNW 向德虎牙断裂上(图 4)。同时松潘—平武地震前,分布在震中 50~350 km 的松潘、映秀、泸定等地应力站都有长达一年的趋势异常反应^[12],所以综合分析各个条件可以预测到松潘—平武大地震的发生。

4 结论

(1) 松潘—平武地区 1970 年至 1975 年的地震视应变场异常区与 1976 年强震具有很好的对应关系。异常区从甘肃向该地区迁移,该地震发生在异常区。视应变值从 1970 年逐年增加,直到 1976 年

地震发生。

(2) 根据对最近几年地震视应变的计算结果,结合地震地质条件、地球物理环境、构造应立场以及中期前兆异常,可以圈定强震预测范围,为中短期的震情动态追踪提供具有概率意义的强震危险区,从而减少震情动态追踪目标的不确定性。进一步提高预测发震地点的准确度与可信度,获得更佳的防震减灾效益。

[参考文献]

- [1] 黄福明,易志刚.地震视应变场的演化与强震发生地区的关系[J].地震学报,2000,22(6):577-587.
- [2] 钟羽云,朱新韵,张震峰.不同类型地震的地震矩—震级标度关系研究[J].西北地震学报,2004,26(1):57-61.
- [3] 王卫东,张永志,邵广周,等.陕西中南部的视应力场研究[J].

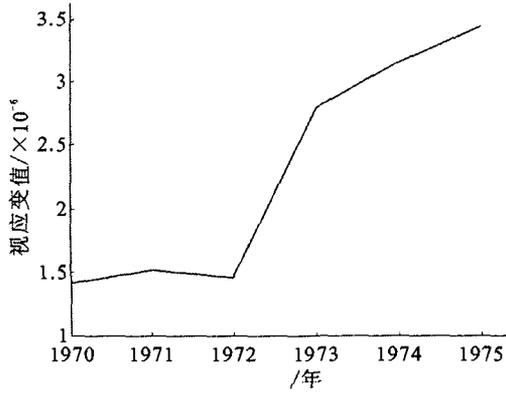


图 3 松潘—平武周边地震视应变年变化曲线图 (1970—1975 年)

Fig. 3 The annual variation curve of seismic apparent strain in Songpan—Pingwu area.

西北地震学报, 2004, 26(4): 343-346.

[4] 王辉, 张国民, 江在森, 等. 利用多种地震学参数研究中国大陆地壳应变场[J]. 地震, 2005, 25(2): 9-18.
 [5] Wyss M. Stress estimates for South American shallow and deep earthquakes[J]. J. Geophys. Res., 1970, 75(8): 1 529-1 544.
 [6] Wyss M. Apparent stresses estimates of earthquakes on ridges compared to apparent of earthquakes in Trenches[J]. Geophys. J. R. astr. Soc., 1970, 19: 479-484.
 [7] 吴忠良、黄静、林碧苍. 中国西部地震视应力的空间分布[J]. 地震学报, 2002, 24(3): 293-301.

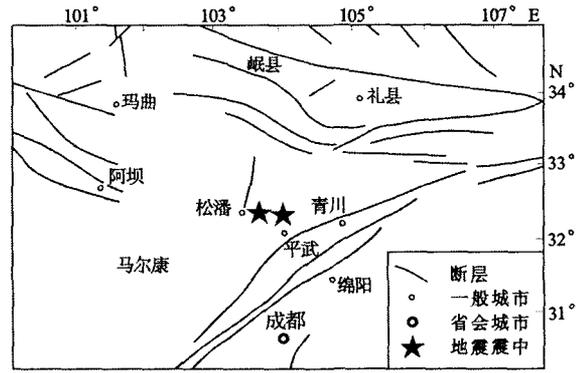


图 4 松潘—平武地震区大地构造与震中分布图
 Fig. 4 Geotectonic map and epicenters in Songpan—Pingwu area.

[8] Gutenberg B. Magnitude determination for deep-focus earthquakes[J]. Bull. Seism. Soc. Amer., 1945, 35: 117-130.
 [9] 国家地震局科技监测司. 地震观测技术[M]. 北京: 地震出版社, 1995.
 [10] 张彬, 杨选辉, 易志刚, 等. 一种基于 MATLAB 的地震视应变计算方法的实现[J]. 地壳构造与地壳应力文集, 2006, 18: 139-148.
 [11] 张彬, 杨选辉, 易志刚, 等. 云南地区地震视应变时空演变与强震发震地区的对应关系[J]. 中国地震, 2006, 22(4): 364-372.
 [12] 国家地震局科技监测司. 地震预报方法实用化研究文集: 形变·重力·应变专辑[G]. 北京: 地震出版社, 1991.