

文章编号: 0253-3782(2000)06-0577-11

地震视应变场的演化与强震 发生地区的关系^{*}

黄福明 易志刚

(中国北京 100085 中国地震局地壳应力研究所)

摘要 根据中国的中强地震资料,初步研究了地震视应变场的时空演化特征与 1955 年以来 31 次强震事件发生地区的关系.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.应用地震视应变异常区预测强震发生地区的 R 值为 0.458,预测强震发生地区的经验概率为 0.625,具有比较好的预测效果.最后对所得到的主要结果进行了初步的讨论.

关键词 地震视应变 异常区 演化 强震发生地区 地震预测 R 值

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A

引言

地震预报研究是以科学的观测为基础,通过认识地震发生的规律及其本质能动地进行地震三要素(时间、地点和震级)预测的探索过程(黄福明,1990).其中,对地震发生地点(地区)的正确预测直接关系到防震减灾的社会效果.正确判定强震发生的地区,不仅有利于有的放矢地进行震情动态追踪,及时作出比较准确可信的短临预报,而且更有利于震前采取各种有效的防震减灾措施,以尽可能地减轻地震造成的损失.因此,自 70 年代以来,国内外地震学者从不同的学科与不同的时空尺度,多方面地探索预测强震发生地区的方法,迄今已获得许多重要的成果.本文在上述研究的基础上,试图根据中国的中强地震资料,进一步探索强震发生前地震视应变场的时空演化特征与强震发生地区的关系,这对于提高预测强震发生地区的科学水平也许有所裨益.

1 资料与方法

1.1 资料来源

本研究计算地震视应变所用地震目录,1990 年以前选用中国地震局地球物理研究所汪素云等编辑的《中国强震目录》^①;1991 年 1 月~1999 年 12 月则选用中国地震局分析预

^{*} 中国地震局“九五”攻关课题(95-04-06-03)和(95-04-07-02)的部分成果.

2000-01-24 收到初稿,2000-09-05 收到最后修改稿并决定采用.

① 汪素云,高阿甲.1998.中国强震目录.

报中心编辑的月报目录.

1.2 研究方法

1.2.1 地震视应变的定义

Aki(1966)证明地震矩为

$$M_0 = \mu DA \tag{1}$$

式中, M_0 为地震矩, μ 为震源区介质剪切模量, D 为地震断层面上平均位移, A 是断层面积.

Wyss 和 Brune(1968)以及 Wyss(1970a)等定义视应力为

$$\eta \langle \sigma \rangle = E_s / DA \quad (0 \leq \eta < 1) \tag{2}$$

式中, η 为地震效率, $\langle \sigma \rangle$ 为平均应力, E_s 是地震波能量, D 与 A 的含义如上所述.

根据式(1)、(2), 可把视应力进一步写成

$$\eta \langle \sigma \rangle = E_s / DA = \mu E_s / M_0 \tag{3}$$

由此得到

$$\eta \langle \sigma \rangle / \mu = E_s / M_0 \tag{4}$$

式中, 平均应力与剪切模量之比 $\langle \sigma \rangle / \mu$ 就是地震的平均剪应变 $\bar{\epsilon}$. 因此, 根据式(4)可以定义地震视应变为(Wyss, 1970a, b)

$$\eta \bar{\epsilon} = \eta \langle \sigma \rangle / \mu = E_s / M_0 \tag{5}$$

由此可见, 地震视应变就是地震平均剪应变与地震效率的积, 它等于地震视应力与剪切模量之比. 通常, 由于地震效率 $\eta < 1$, 故地震视应变总是小于地震剪应变.

由式(5)可见, 当已知地震波能量 E_s 和地震矩 M_0 时, 便可求得地震视应变值. 在地震效率 η 确定的情况下, 还可以进一步得到实际的地震应变值. 然而, 由于 η 是一个相对难于确定的因子, 故在本研究中直接用地震视应变来表征实际地震剪应变的相对释放水平.

1.2.2 地震视应变的计算

根据式(5), 地震视应变可通过地震波能量 E_s 和地震矩 M_0 直接求得. 其中, E_s 与 M_0 可由下列经验公式求得:

$$\lg E_s = 11.8 + 1.5 M_s \tag{6}$$

$$\lg M_0 = a_1 M_s + a_2 \tag{7}$$

式中, a_1, a_2 为经验常数, 对于不同地区或震级范围其数值不同(蒋溥, 戴丽思, 1991; 陈培善, 陈海通, 1989). 本研究中 a_1 和 a_2 所取数值来自表 1(蒋溥, 戴丽思, 1991).

本研究中, 中国大陆地区及其沿海地区(台湾地区除外)均以 $M_s = 4.5$ 作为地震的起算震级. 我们利用式(5)~(7)分别对不同地区的中强地震逐次进行地震视应变的计算, 并运用“Winsurfer 软件”, 以 4 年为窗口, 1 年与 1 平方度为时空步长, 逐步滑动, 便可以对地震视应变场的动态演化特征与强震发生的关系进行研究.

表 1 中国几个主要地区的经验常数值

地 区	a_1	a_2
南北地震带	1.09	18.6
台湾地区	0.94	19.8
东部地区	0.71	21.1
西部地区	0.97	19.6
西藏地区	1.17	18.6

为了便于定量研究与识别判定, 特引入“地震视应变异常区”这一概念, 它是指中国东部地震视应变值 $\eta \bar{\epsilon} \geq 10^{-5}$ 、中国西部 $\eta \bar{\epsilon} \geq 10^{-4}$, 并在空间上围成的面积 ≥ 1 平方度的区域. 若相邻两次强震发生时间间隔较短, 而且距离较近, 则两次地震视应变异常区可以重叠或

相连.

2 结果

2.1 主要认识

根据“地震视应变”的定义,我们计算了中国大陆及其沿海地区(台湾地区除外)1955年以来部分中强地震的地震视应变,初步研究了地震视应变异常时空演化图象与31次强震事件(中国东部 $M_s \geq 6$,西部 $M_s \geq 7$)发生的关系,获得了以下具有中长期(1~5年左右)^①预测意义的几点认识:

(1) 通常一次强震发生前3年左右,往往在未来震中区或其邻近地区形成一个地震视应变异常区.该异常区形成后,或是稳定发展直至发生地震,或是在发展过程中出现减弱(缩小)或消失现象后发生地震.一般在异常区出现减弱(缩小)或消失后2年左右,在该异常区内或其邻近地区(大多数在200 km以内)往往发生强震.

(2) 强震发生后,往往在震中附近出现一个地震视应变震后调整释放区.该区与震前视应变异常区不同之处在于:震后视应变调整释放区的范围一般比震前视应变异常区大数倍,而视应变值则比震前异常区相应值大若干倍.若震后视应变调整释放区在出现后短时间(通常约1年)内突然减弱(缩小)或继续扩展,则该区附近有可能转化成新的地震视应变异常区,存在发生新的强震的危险性,应引起注意.

(3) 若强震成组活动,则一组地震的第一次强震发生前,地震视应变异常区一般出现较早,往往在其出现2~3年后便发生强震.当第一次强震发生后,随着地震视应变异常区的时空演化进程,该组内其它相继发生的强震所对应的视应变异常区便一个接一个地清晰明朗地展现出来.当组内某一次强震发生后3年,在研究区的地震视应变空间演化图象上没有出现新的异常区时,则可能标志该组强震活动业已结束.

为了清楚起见,表2列出上述研究的31次强震事件(事件包括双震型与震群型地震)发生前地震视应变异常区出现的时间及其与发震时间的间隔以及震中至异常区的距离.从表2不难看出,在31次强震事件中,震中落在地震视应变异常区内的事件共有10次,占32.3%;而震中同异常区外包络线的距离 ≤ 250 km的事件有20次,占64.5%,即有96.8%的强震事件发生在视应变异常区内或其附近250 km以内的地区.同时,从表2还可以看到,共有27次强震事件发生时间与视应变异常区出现时间的间隔在1~5年之内,占总数的87.1%.其中,时间间隔1~4年有20次,占64.5%;1~3年有16次,占51.6%.这些统计结果表明,本文所研究的绝大多数强震事件,在地震视应变异常区形成后的1~5年内,往往发生在异常区内或其邻近的250 km之内的地区.这个结果对于具体预测未来强震发生地区很有实际意义.

2.2 南北地震带地震视应变异常的时空演化图象与强震的关系

为了进一步说明上述认识,下面仅具体给出1970年以来南北地震带10次强震事件发生前后地震视应变异常区的时空演化图象.在下列图1~图9中,实心圆表示地震,地震视应变异常区附近的数字“1, 2, ..., 9”表示将可能对应地震的异常区,而视应变异常区下面带括号的数字“(1), (2), ..., (5)”则表示后来未对应地震的异常区.

^① 据中国《地震预报条例》(1999)界定,中期预报时段为1, 2年以内;长期预报时段为10年以内.

表 2 强震发生前地震视应变异常区出现时间及其与发震时间的关系
以及强震震中至异常区的距离

研究地区	地震视应变异常区 编号	异常区出现时间	异常区减弱(缩小) 或消失时间	对应的地震			异常区出现时 间至发震的时 间间隔/a	震中至异常区 外包络线的距 离/km
				时间	地点	震级		
南北地震带中 南段及其邻区	1	1967 年		1970-01-05	峨山	7.7	3	240
	2	1967 年	1971 年缩小	1973-02-06	炉霍	7.6	6	20
	3	1971 年	1973 年缩小	1974-05-11	大关	7.1	3.5	在异常区内
	4	1974 年		1976-08-16	松潘-平武	7.2, 7.2	2.6	在异常区内
	5	1974 年	1975 年缩小	1976-05-29	龙陵	7.3, 7.4	2.5	120
	6	1984 年	1987 年缩小	1988-11-16	澜沧-耿马	7.5, 7.0	4.9	170
	7	1984 年	1987、1988 年消失	1989-04-05	巴塘	6 级震群(3 次)	5.4	在异常区内
	8	1987 年	1989 年扩展	1990-04-26	共和	7.0	3.3	190
	9	1993 年	1994 年扩展	1995-07-12	勐连	7.3	2.2	30
华北地区	1	1965 年		1966-03-22	宁晋	7.2 级震群(5 次)	1.2	190
	2	1966 年		1967-03-27	河间	6.3	1.3	在异常区内
	3	1967 年		1969-07-18	渤海	7.4	2.6	在异常区内
	4	1972 年	1974 年消失	1975-02-04	海城	7.4	3.1	在异常区内
				1976-07-28	唐山	7.8	4.9	在异常区内
	5	1974 年	1978 年消失	1979-07-09	溧阳	6.0	5.5	40
	6	1978 年		1979-08-25	五原	6.0	1.7	200
	7	1981 年	1982 年缩小	1983-11-07	菏泽	5.9	2.8	180
	8	1982 年	1983 年消失	1984-05-02	黄海	6.2	2.3	30
	9	1987 年		1989-10-19	大同	6.1	2.8	190
	10	1992 年	1994 年缩小、1995 年消失	1996-05-03	包头	6.4	4.3	200
东南沿海	11	1990 年	1994、1995 年消失	1996-11-09	南黄海	6.1	6.8	在异常区内
	1	1960 年	1961 年缩小	1962-03-19	河源	6.1	2.2	320
	2	1965 年	1966 年缩小、 1967~1968 年消失	1969-07-26	阳江	6.4	4.7	30
新疆地区	3	1990 年	1992 年扩展、 1993 年消失	1994-09-16	台湾海峡	7.3	4.7	在异常区内
	1	1953 年		1955-04-15	乌恰	7.0, 7.0	2.3	180
	2	1959 年		1961-04-01~04-14	伽师	6 级震群(3 次)	2.2	130
	3	1970 年		1974-08-11	阿克陶	7.3	4.6	在异常区内
	4	1981 年	1982~1984 年缩小	1985-08-23	乌恰	7.4	4.6	30
	5	1994 年		1996-11-19	赛图拉	7.1	2.9	250
	6	1994 年	1995 年缩小	1997-01-04	伽师	6 级震群(7 次)	3	150
	7	1994 年		1997-11-08	玛尼	7.5	3.9	230

为了清楚起见,上述演化图中在第一次出现地震视应变异常区内或其邻近地区,均提前标明未来将发生地震的震中及相应的发震时间与震级,藉以说明该异常区与尔后发生的强震事件的空间关系.例如,图 1 所示的 1967 年演化图上在 1 号与 2 号地震视应变异常区的邻区与异常区内,分别标明 1970 年峨山 7.7 级地震的震中与 1973 年炉霍 7.6 级地震的震中.此外,如果邻近年份地震视应变异常区的图象相同或差别不大,则不示出下一年相应的空间演化图,以节省篇幅.如果邻近年份地震视应变异常区的图象差别较大(如出现异常区图象缩小减弱或消失),则依次示出下一年的空间演化图象,以便了解逐年演化的过程.

从上述演化图象可以看出，1970 年以来，南北地震带中南段共发生 $M_s \geq 7$ 地震事件 9 次， $M_s \geq 6$ 震群 1 次。这些地震事件发生前先后出现地震视应变异常区 14 个，其中 9 个异常区内及其邻近地区尔后发生了 9 次强震事件，其余 5 个异常区形成后没有发生强震。

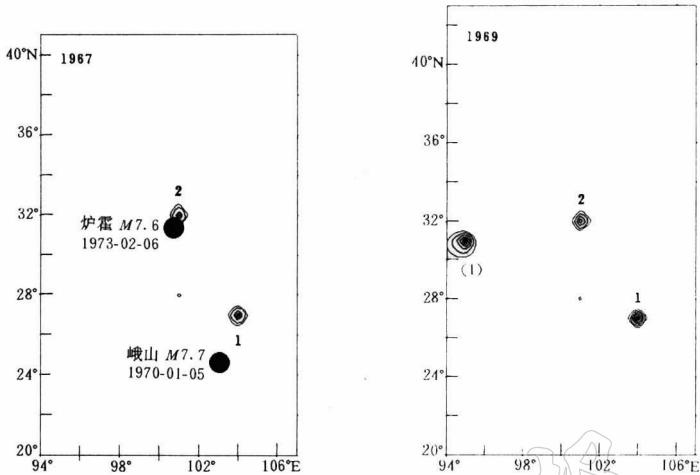


图 1 南北地震带 1967~1969 年地震视应变异常空间演化图
(图 1~9 地震视应变异常区等值线单位为 10^{-5})

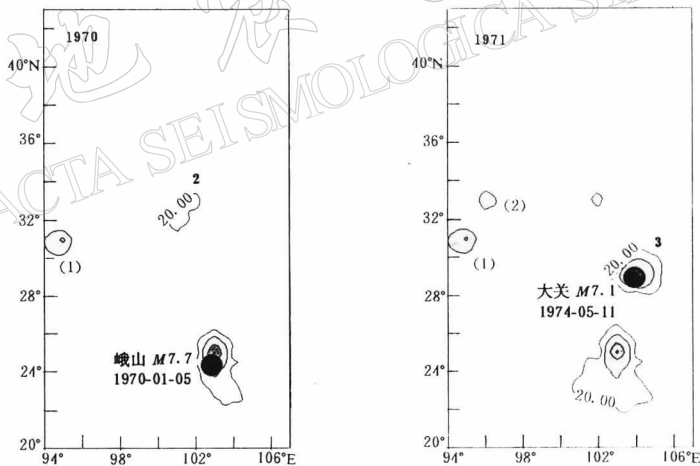


图 2 南北地震带 1970~1971 年地震视应变异常空间演化图

3 应用地震视应变异常区预测强震发生地区的 R 值检验

为了进行地震预测效能的 R 值检验，首先需界定强震事件的震中位置与其发生前出现的地震视应变异常区之间的空间关系。为此约定，凡是强震事件震中落在地震视应变异常区内或距异常区外包络线的距离 ≤ 250 km 时，则认为该强震事件发生前出现了地震视应变异常区，或者说该异常区对应了尔后发生的强震事件。

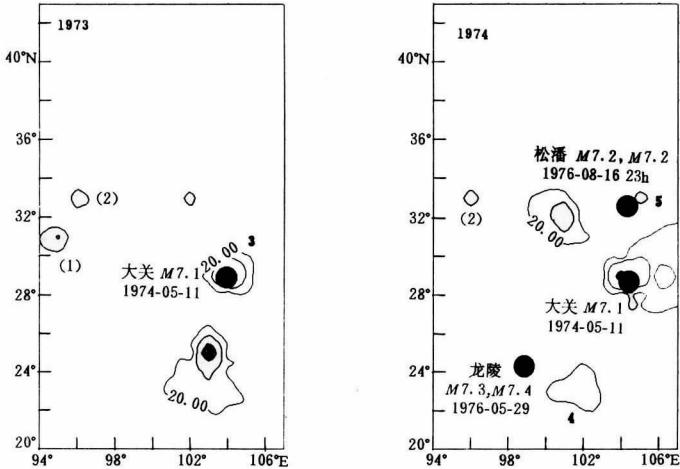


图 3 南北地震带 1973~1974 年地震视应变异常空间演化图

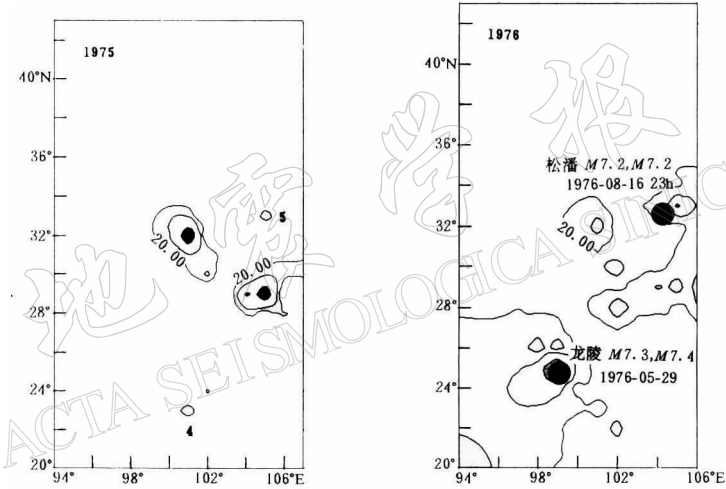


图 4 南北地震带 1975~1976 年地震视应变异常空间演化图

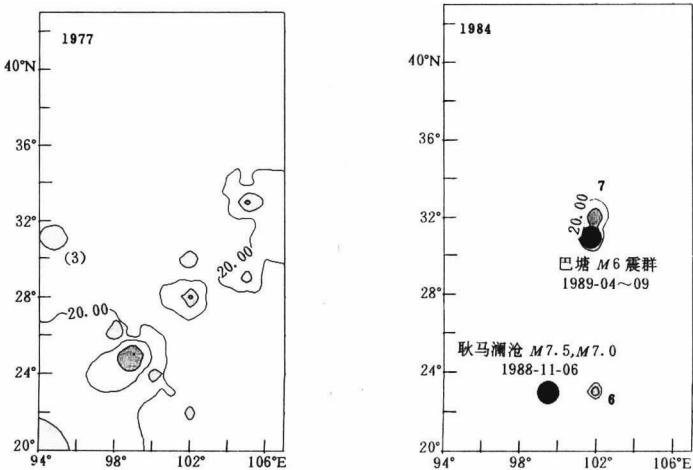


图 5 南北地震带 1977~1984 年地震视应变异常空间演化图

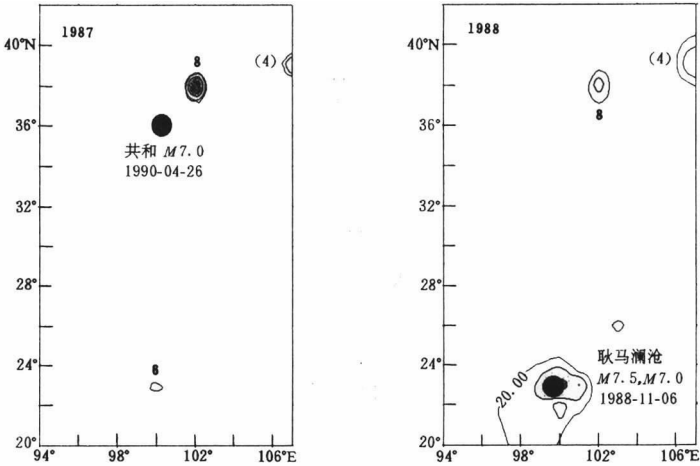


图 6 南北地震带 1987~1988 年地震视应变异常空间演化图

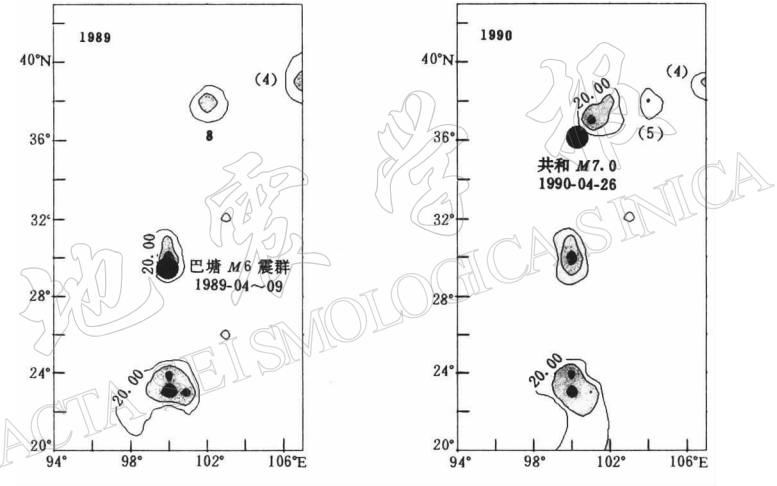


图 7 南北地震带 1989~1990 年地震视应变异常空间演化图

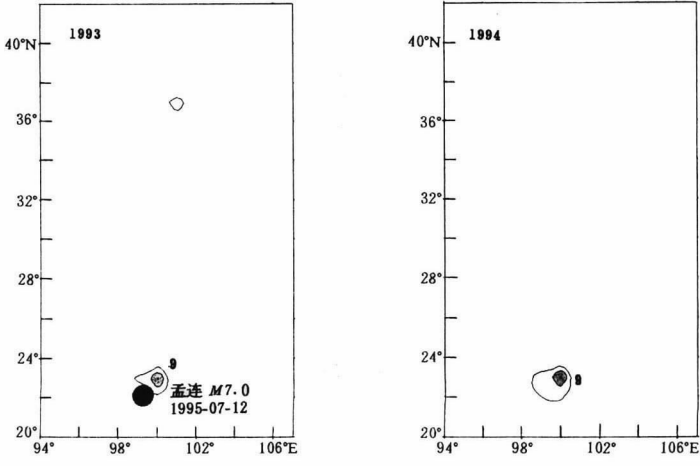


图 8 南北地震带 1993~1994 年地震视应变异常空间演化图

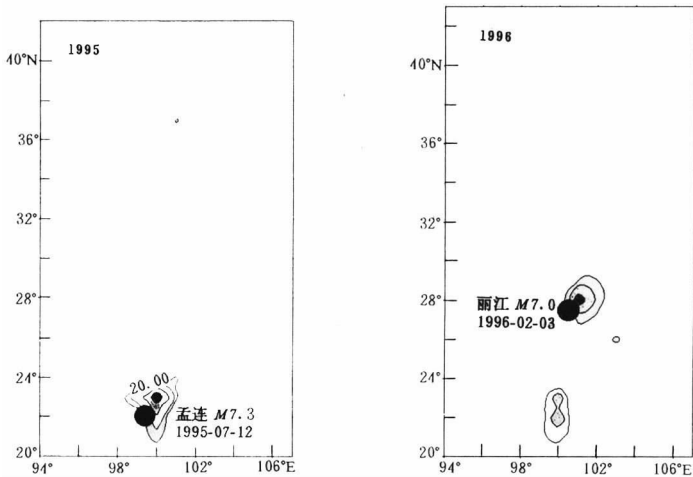


图 9 南北地震带 1995~1996 年地震视应变异常空间演化图

经统计,1962 年以来,中国东部共发生 $M_s \geq 6$ 地震事件 18 次(双震型或震群型地震均按一次事件统计,余震不参加统计),先后出现地震视应变异常区 22 个,其中 8 个是虚的,未对应地震. 1970 年以来,南北地震带中南段共发生 $M_s \geq 7$ 地震事件 9 次, $M_s \geq 6$ 震群 1 次,出现地震视应变异常区 14 个,其中 5 个是虚的,但有 1 次强震(即 1996 年丽江 7.0 级地震)发生前没有出现异常区. 1955~1997 年,新疆地区共发生 $M_s \geq 7$ 地震 8 次,出现地震视应变异常区 12 个,其中 5 个异常区未对应地震. 表 3 给出上述研究区有地震与无地震时是否出现地震视应变异常区的列联表.

表 3 中国东、西部地震视应变异常区与强震发生的列联表

实际情况	中国东部		南北带中南段		新疆地区		组合表		合计
	有异常区	无异常区	有异常区	无异常区	有异常区	无异常区	有异常区	无异常区	
有地震	14	4	9	1	7	1	30	6	36
无地震	8	0	5	0	5	0	18	0	18
合计	22	4	14	1	12	1	48	6	

如果约定凡在研究区内出现地震视应变异常区,便预测在异常区内或其邻近 250 km 以内地区未来将有强震发生,则根据表 3 所列数据,有震报准率为

$$c = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应预报的地震总数}} = \frac{30}{36} = 0.833 \tag{8}$$

相应的虚报率为

$$b = \frac{\text{出现异常区但无地震的次数}}{\text{出现异常区的总次数}} = \frac{18}{48} = 0.375 \tag{9}$$

由式(8)与(9)便得到根据地震视应变异常区预测强震发生地区的效能评分 R 值(国家地震局科技监测司,1990)为

$$R = c - b = 0.833 - 0.375 = 0.458 \tag{10}$$

相应地,利用地震视应变异常区预测强震发生地区的经验概率为

$$P = \frac{\text{出现异常区且有地震的次数}}{\text{出现异常区的总次数}} = \frac{30}{48} = 0.625 \quad (11)$$

上述结果表明,本研究求得的 R 值明显大于相应的 97.5% 置信水平的 R 值(0.161). 这不仅说明所求得的 R 值具有相当高的置信度,而且亦说明利用地震视应变异常区预测强震发生地区具有比较好的效果.

4 讨论

(1) 本研究的地震视应变,实质上就是视应力与震源区介质的剪切模量之比,它是震源区剪应变的下限值(Wyss, 1970 a, b),实际上反映了地震发生时弹性应变的相对释放水平. 文中界定的“地震视应变异常区”则表示地震应变相对释放的强度与范围只有达到一定的程度时,才可能预示异常区内或其邻近地区将发生强震或大震. 换言之,地壳介质的局部破裂(含原有断裂的进一步扩展),只有形成一定规模之后,大的破裂才可能发生. 因此,从预测学的角度看,唯有达到一定强度与规模的地震活动性,才可能具有强震或大震将发生的中长期(1~5 年左右)前兆的意义.

(2) 60 年代以来,国内外一些地震学者已注意研究地震应变的积累与释放特征,并藉以预测强震发生的可能性. 概括起来,这些研究主要集中在如下两个方面:① 研究一定地区在一定时段内所有强震产生的应变释放与积累的图象,藉以了解研究区内不同地区应变能的增加与减少的情况,从而估计未来发生强震的可能性(Smith, Lindt, 1969)和划分不同等级的地震应变释放带(蒋溥,戴丽思,1991);② 研究同一构造活动带或同一地震区(带)在较长的时间间隔内地震应变释放曲线(即蠕变曲线)的变化特征,藉以推断该地区在未来几年或几十年内地震活动的总趋势以及目前地震活动的可能强度或最大震级(傅淑芳等,1980;陆远忠等,1985). 迄今,这两方面的研究均取得了一些有意义的结果.

本研究尽管亦涉及地震应变释放,但同上述研究不同之处在于:本研究主要根据中等强度以上($M_s \geq 4.5$)地震的视应变释放异常区预测未来 1~5 年左右强震可能发生的地区. 所预测的强震震中既可以在地震视应变异常区之内,亦可以在异常区的邻近地区(绝大多数在 200 km 以内). 这主要决定于研究地区地壳介质的结构、构造、物理性质与强度不均匀性的空间分布特征. 如果规模大且强度高的障碍体被数量可观的规模与强度中等的障碍体所包围,则未来的强震将发生于地震视应变异常区范围之内;如果规模大且强度高的障碍体位于中等规模与中等强度的障碍群体的附近,则未来发生的强震震中将位于地震视应变异常区的邻近地区. 强震发生后,震中附近出现的震后视应变调整释放区往往比震前视应变异常区范围大且数值高,这主要是由于主震及其发生后众多余震相继释放应变的叠加效应造成的.

(3) 从表 2 可看到,共有 14 个与强震事件对应的地震视应变异常区在强震发生前 1~2 年出现缩小减弱或消失的现象. 其产生的原因似乎可作如下的初步解释:如所周知,在强震孕育区及其邻近的周围地区,往往分布有各种规模不等和强度各异的障碍体,在构造应力作用下,它们常常是地震孕育发生的有利部位. 对于不同的强震孕育区及其邻近地区,不仅构造应力作用的方式与变化速率不尽相同,而且各种障碍体的数量、强度与空间分布图象亦往往存在较大的差异性. 因此在强震发生之前,规模与强度中等的障碍群体先后发生破裂形成的地震视应变异常区的时空演化图象亦随之不同. 对于某些强震孕育区及其邻

近周围地区,如果规模与强度中等的障碍群体的强度分布相对比较均匀,则在构造应力和/或孔隙压力不断增强的过程中,这些障碍群体将可能较早地或比较集中地发生破裂形成地震。尔后随着时间的推移,或是不复存在能继续发生破裂的同等规模的障碍体,或是即使存在此类障碍体也数量不多,而且其空间分布范围较小。于是,在规模大且强度高的障碍体最终发生破裂形成强震之前的 1~2 年内,便出现上述地震视应变异常区缩小减弱或消失的现象。这种现象颇类似于某些强震在进入孕震过程的短临阶段时出现的地震活动减弱或平静的现象。

5 结论

(1) 对中国大陆及其沿海地区(台湾地区除外)1955 年以来 31 次强震事件(共含 49 次 $M_s \geq 6$ 地震,其中 $M_s \geq 7$ 地震 22 次)的震例分析结果表明,在 1~5 年左右的时间范围内,地震视应变异常区与强震发生地区存在相当好的对应关系,应用地震视应变异常区预测强震发生地区的 R 值为 0.458,预测的经验概率为 0.625。具有比较好的预测效果。

(2) 根据地震视应变异常区预测强震发生地区本质上是以震报震的方法,同其它以震报震方法不同之处在于:它将中等强度以上地震群体的时空演化图象转换成地震视应变异常区的时空演化图象,使图象更加量化清晰,更容易识别。因此,将地震视应变异常区的时空演化特征同地震地质条件与地球物理环境的分析有机结合起来,可以更合理地圈定预测范围,将为中短期(数月至 1 年)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。

感谢陆远忠研究员提供 Winsurfer 软件。

参 考 文 献

- 陈培善,陈海通. 1989. 由二维破裂模式导出的地震定标律[J]. 地震学报, 11(4): 337~350
- 傅淑芳,刘宝诚,李文艺. 1980. 地震学教程(下册)[M]. 北京:地震出版社, 261~264
- 国家地震局科技监测司. 1990. 地震学分析预报方法程式指南[M]. 北京:地震出版社, 72~77
- 黄福明. 1990. 地震预报研究的现状与动态[J]. 国际地震动态, (2): 4~9
- 蒋溥,戴丽思. 1991. 震源断错和地震应力场[A]. 见:《中国岩石圈动力学地图集》编委会编. 中国岩石圈动力学概论[C]. 北京:地震出版社, 221~224
- 陆远忠,陈章立,王碧泉,等. 1985. 地震预报的地震学方法[M]. 北京:地震出版社, 27~32
- Aki K. 1966. Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964, 2, estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G wave spectrum[J]. *Bull Earthquake Res Inst Tokyo Univ*, 44: 73~88
- Smith S W, Lindt W V. 1969. Strain adjustments associated with earthquakes in southern California[J]. *Bull Seism Soc Amer*, 59(4): 1 569~1 589
- Wyss M, Brune J N. 1968. Seismic moment, Stress, and Source dimensions for earthquakes in the California-Nevada Region[J]. *J Geophys Res*, 73(14): 4 681~4 694
- Wyss M. 1970a. Stress estimates for South American shallow and deep earthquakes[J]. *J Geophys Res*, 75(8): 1 529~1 544
- Wyss M. 1970b. Apparent stresses estimates of earthquakes on ridges compared to apparent stresses of earthquakes in Trenches[J]. *Geophys J R astr Soc*, 19: 479~484

RELATION BETWEEN THE EVOLUTION OF SEISMIC APPARENT STRAIN FIELD AND THE REGION OF STRONG EARTHQUAKE OCCURRENCE

Huang Fuming Yi Zhigang

(*Institute of Crustal Dynamics, China Seismological Bureau, Beijing 100085, China*)

Abstract: In this paper, according to the data on the middle and strong earthquakes in China, we have preliminarily studied the relation between the characteristic of space-time evolution of the seismic apparent strain field and the regions of 31 macroseism events since 1955. The result shows that, there is a rather well corresponding relationship between the anomaly region of seismic apparent strain and the zone of macroseism event occurrence within the time range of one to about five years. The R value of the application of the abnormal region of seismic apparent strain to predicting the area of strong earthquake occurrence is 0.458, and the empirical possibility of forecasting the region of macroseism occurrence is 0.625, and so the forecasting effect is comparatively well. Finally, the main results obtained above are discussed preliminarily.

Key words: seismic apparent strain; anomaly region; evolution; region of macroseism occurrence; earthquake prediction; R value