

地震活动增强方式及其复杂性

王 炜

(上海市地震局, 上海 200062)

摘要: 分析了地震活动增强特征参数 W_1 与相应其它参数的关系以及在一些 6 级左右地震前 W_1 值的动态图像变化. 结果表明中强以上地震前的地震活动“增强”通常表现为在强度上的增高、时间和空间上的丛集以及强度增高与时空丛集同时出现 3 种方式. 一些 6 级左右地震前的 W_1 值动态图像变化表明地震孕育过程往往表现为多应力集中区相互作用和影响的演变过程.

主题词: 地震活动异常增强; 地震孕育; 应力集中; 人工神经网络

中图分类号: P315.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2000)04-0376-06

0 前言

地震学预报方法是目前最主要的地震中期预报方法, 通常使用多种预报参数进行预报, 如 b 、 η 、 $A(b)^{[1]}$ 、 $M_f^{[2]}$ 、 $C^{[3]}$ 、 $D^{[4]}$ 值等. 但是各种参数在震前中期阶段的变化是大不一样的, 有些异常反映明显, 而有些较差, 有些甚至没有变化. 同样, 一些异常出现后也不一定发生较强地震. 说明这些异常与未来地震之间有很强的非线性关系. 而神经网络是一种高度自适应的非线性动力系统, 通过神经网络学习可以得到输入与输出之间的高度非线性映射, 因此使用神经网络能够建立起输入与输出之间的非线性关系. 文献[5]首先根据华北地区 70 年代以来的多次中强震前 1~3 a 期间震中及周围地区的各种参数的计算值通过 BP 神经网络进行了学习, 通过学习网络可以记忆上述 6 个参数的组合在震前的各类特征. 然后根据学习得到的结果, 使用地震资料计算华北地区各扫描单元的 BP 神经网络的输出值并进行空间扫描. 由于该输出值表现了在孕震中期阶段中小地震活动增强过程的综合特征, 因此称之为地震活动增强特征参数 W_1 . 扫描结果表明中强地震前 1~3 a, 未来震中周围一般都开始出现明显的异常区, 具有很好的中期预报效果. 对增强特征参数 W_1 和相应的其它参数的动态图像进一步分析结果表明, 孕震中期阶段中小地震活动“增强”往往表现为在强度上的增高、在时空域上的丛集以及强度增高与时空丛集同时出现的 3 种表现方式. 同时从 W_1 的动态图像变化还可看到, 地震孕育过程往往表现为多应力集中区相互作用和影响的演变过程, 地震的发生往往是具有—定关联的, 仔细分析这些图像的变化对于正确预报其后的地震是十分重要的.

1 地震活动增强的表现方式

本文所用资料及方法与文献[5]相同. 目前常使用的有较好中期预报效果的地震学预报指

收稿日期: 1999-08-31

基金项目: 中国地震局“九五”攻关项目(95-04).

作者简介: 王 炜(1947—), 男, 研究员, 从事地震预报及研究工作.

标有 b 、 η 、 $A(b)$ 、 Mf 、 C 、 D 等参数. 这些参数分别反映了地震活动在时、空、强 3 方面的特征, 如 b 、 η 、 $A(b)$ 、 Mf 等参数反映了地震强度方面的某些特征, C 值和 D 值分别反映了地震活动在空间和时间上的丛集特征. 但是各种参数在震前中期阶段的变化是大不一样的, 表明这些异常与未来地震之间有很强的非线性关系. 文献[5] 将上述 6 个参数作为神经网络的输入单元 (图 1), 输出单元数为 1, 即为“该区是否为未来中强以上地震的中期异常区”, 取值为 1 (是) 或 0 (否). 若 W_1 取值在 1 附近, 则表明该点及其邻近区域为未来中强地震的中期异常区; 若在 0 附近则表明该区为正常区域或并不处在孕震的中期阶段.

本文以近几年在华北地区发生的 3 次 6 级左右地震为例, 通过分析增强特征因子 W_1 及其相应参数的异常空间分布图像研究孕震中期阶段地震增强过程引起参数 W_1 变化的原因. 图 2 为 1996 年 5 月包头 6.2 级、1996 年 11 月南黄海 6.1 级和 1998 年 1 月张北 6.2 级地震前 1 ~ 2 a 期间某一时段的 W_1 值异常空间分布, 而图 3 为其相应的 b 、 η 、 $A(b)$ 、 Mf 、 C 、 D 等参数的空间扫描分布, 图中的阴影区为各参数异常区, 自左至右分别为 $A(b)$ 、 b 、 η 、 Mf 、 C 、 D 值扫描分布. 根据华北地区地震活动特点, 本文取 $b \leq 0.6$ 、 $\eta \leq 1.6$ 、 $A(b) \geq 5.0$ 、 $Mf \geq 0.25$ 、 $C \geq 0.2$ 、 $D \geq 0.2$ 时为异常. 可以看到这 3 次地震前震中附近地区都出现了较大范围的 W_1 值异常. 图 3(a) 为包头 6.2 级地震前 1a 左右的其它相应参数的异常分布, 可以看到包头地震附近地区出现较大范围的 b 、 η 、 $A(b)$ 、 Mf 值异常, 而 C 、 D 值却未出现异常. 这表明包头地震前震中附近的“增强”主要表现为地震活动强度方面的增高; 由图 3(a) 和图 3(b) 可以看到南黄海 6.1 级地震前的孕震中期阶段, 震中附近地区的各类参数都出现了较大范围的明显异常, 这表明南黄海地震前震中附近地区的中小地震活动除表现为地震活动强度方面的增高外, 还表现为在时间和空间上的丛集; 由图 3(b) 和图 3(c) 可以看到张北 6.2 级地震前, 反映地震活动强度增强方面的参数 b 、 η 、 $A(b)$ 、 Mf 值都未出现异常, 而 C 、 D 值在震中附近地区却出现明显异常, 这表明张北地震前的“增强”主要表现为地震活动在时间和空间上的丛集.

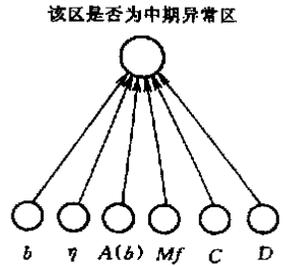


图 1 BP 神经网络的输入与输出神经元 (图中隐层略).
Fig. 1 Input and output neural units of the BP neural network.

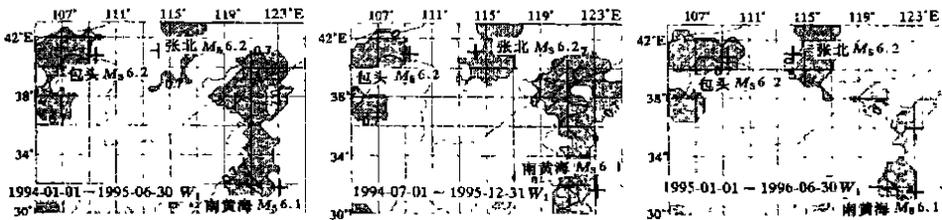


图 2 包头、南黄海、张北 3 次 6 级以上地震前 W_1 的异常分布
Fig. 2 Distribution of anomalies of seismicity enhancement parameter W_1 before the Baotou, South Yellow Sea and Zhangbei earthquakes ($M_s \geq 6.0$).

从上述 3 个震例及其它一些震例分析可知, 中强以上地震发生前的中期阶段, 震中附近中小地震活动的“增强”特征主要表现为 3 种情况: ①强度上的增高; ②时间、空间上的丛集; ③同时表现为强度上的增高和时间、空间上的丛集.

2 地震活动增强过程的复杂性

地震活动增强特征参数 W_1 反映了中强以上地震前的中期阶段地震活动增强的综合特

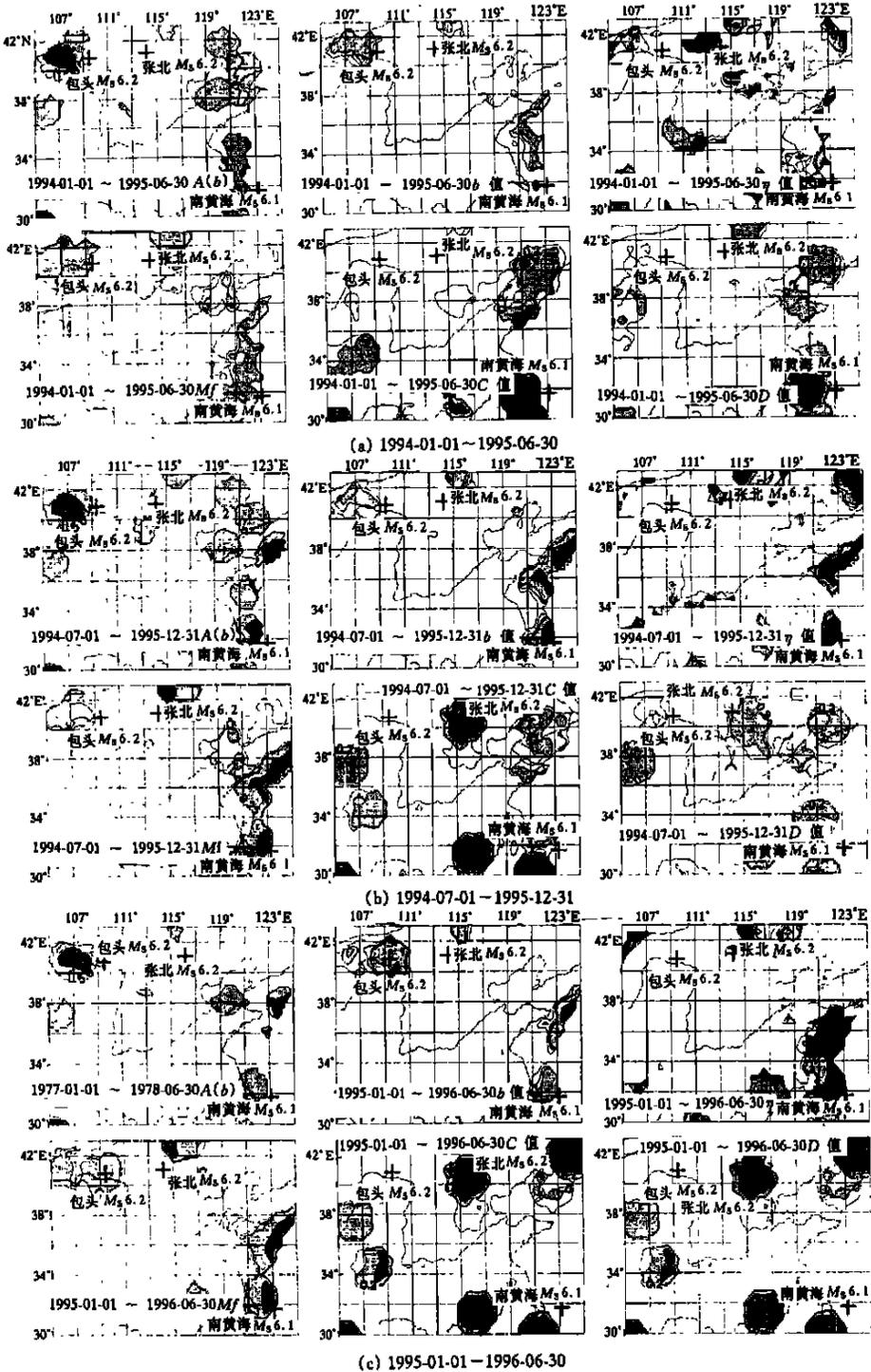


图3 包头、南黄海、张北地震前华北地区 $A(b)$ 、 b 、 η 、 Mf 、 C 、 D 值异常(阴影)空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of anomalies of $A(b)$ 、 b 、 η 、 Mf 、 C 、 D values in North China before the Baotou $M_s6.2$ 、South Yellow Sea $M_s6.1$ and Zhangbei $M_s6.2$ earthquakes.

征,可以认为 W_1 值异常区即为应力相对集中区.陆远忠等(1986)在研究孕震空区时曾认为,孕震空区是在大区域应力场增强情况下所形成的多应力集中的表现.随着某些较大地震的发生,将使其周围应力场发生调整,而使某些正在孕育中强以上地震的区域减少或解除应变积累,从而使得孕震空区消失,并将这类地震称之为卸载地震.本文的研究发现,一些中强以上地震(尤其是6级左右地震)发生时,华北地区常常出现数个 W_1 值异常区.但是往往由于该地震的发生而使得其它区域的异常逐步消失.如果这些地区再次出现 W_1 值异常时,则在这些异常区尤其是边缘地区发生中强以上地震的可能性较大.下面将通过华北地区几次6级左右地震前后 W_1 值的动态演化图像来说明地震活动增强过程的复杂性(图4).

图4(a)为1979年7月溧阳6.0级地震前至1984年5月南黄海6.2级地震前的3幅 W_1 值异常分布图.可以看到1977~1978年期间内蒙丰镇、宁夏海原、山东菏泽和南黄海等地区都出现 W_1 值异常区,但是这些地区在1979年华北发生的一组中强地震后并没有很快发震,而是出现 W_1 值异常区逐步消失.1981年6月后这些地区开始再次出现 W_1 值异常,其后陆续发生1981年丰镇5.8级、邢台5.8级、1982年海原5.7级和1983年菏泽5.9级地震.1982年6月以后在1984年南黄海6.2级地震附近地区也开始再次出现较大范围的 W_1 值异常,其后发震.

图4(b)为1989年10月大同6.1级地震前至1996年5月包头6.2级地震前的3幅 W_1 值异常分布图.可以看到大同地震前在未来包头地震震中周围地区出现了 W_1 值异常区.大同地震后至1990年底,包头地区的 W_1 值异常区消失.一直到1995年6月该区才再次出现 W_1 值异常,其后发生包头6.2级地震.

图4(c)为1989年10月大同6.1级地震前至1996年11月南黄海6.1级地震前的3幅 W_1 值异常分布图.可以看到大同地震前在未来南黄海地震震中周围地区出现了 W_1 值异常区,该区还于1990年2月发生常熟5.1级地震.至1992年,南黄海地震附近地区的 W_1 值异常区消失.这一期间在6.1级地震的北部发生了1992年1月南黄海5.3级地震.一直到1994年6月该区再次出现 W_1 值异常,其后才发生南黄海6.1级地震.

图4(d)为1996年5月包头6.2级地震前至1998年1月张北6.2级地震前的3幅 W_1 值异常分布图.可以看到包头地震前在未来张北地震震中周围地区出现了 W_1 值异常区.包头地震后的1997年6月,张北震中附近地区的 W_1 值异常区消失.到1997年底该区再次出现 W_1 值异常,其后发生张北6.2级地震.

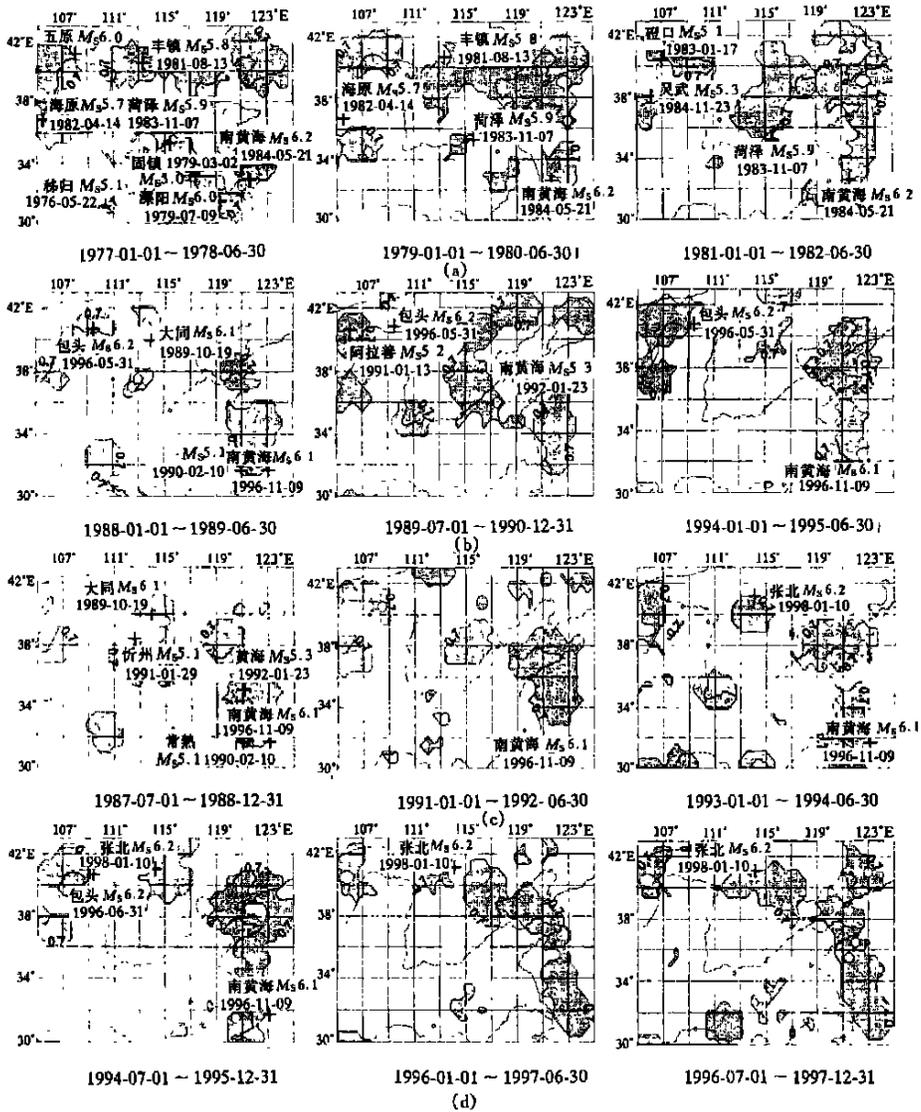
由图4可以看到,地震活动增强特征参数 W_1 值异常区是在大区域应力场增强情况下所形成的多应力集中的表现.一些地震的孕育过程并非简单地随着应力场的增强而最终导致地震发生,而往往在时间和空间上出现多次起伏,形成了十分复杂的地震活动图像.实际预报中要注意那些在中强以上地震前出现而在震后消失的异常区域,尤其当这些异常区再次出现异常时,要警惕该区在不太长时间内发震的可能性.

3 结论与讨论

3.1 地震活动的增强

地震活动增强是中期阶段的最主要特征,而地震活动增强特征参数 W_1 可以较好地表征增强过程中地震活动的时空强综合特征.由本文的结果分析可知,地震活动增强表现为3类形式:第1类表现为地震活动的强度的增高;第2类表现为地震活动在时间和空间上的丛集;第3类为在出现第1类特征的同时也表现出明显的第2类特征.通常大部分震例表现为第1类和第3类特征.但也有少数震例主要仅表现为第2类特征,如1979年介休5.1级、1998年

张北 6.2 级等地震就仅表现出第 2 类特征. 一般情况下, 人们对增强的理解是指第 1 和第 3 类特征, 而对第 2 类特征往往注意不够, 这是在实际预报工作中应该注意的.



- (a) 1979 年溧阳 6.0 级地震至 1984 年南黄海 6.2 级地震前;
- (b) 1989 年大同 6.1 级地震至 1996 年包头 6.2 级地震前;
- (c) 1989 年大同 6.1 级地震至 1996 年南黄海 6.1 级地震前;
- (d) 1996 年包头 6.2 级地震至 1998 年张北 6.2 级地震前

图 4 华北几次 6 级左右地震前后地震活动增强特征参数 W_1 值的动态演化图像

Fig. 4 Dynamic evolution of W_1 value before and after some strong earthquakes in North China.

3.2 地震活动增强过程的复杂性

地震的前兆或震兆, 就其本质来说是地壳应变过程的直接或间接的反映. 如果把震源看做是单一的应力集中点所决定的“单点场”, 比用多个应力集中点决定的“多点场”来考虑震源的

形成要单纯而明确得多,但是客观事实的复杂性使我们不得不用“多点场”观点来认识和研究地震孕育过程.根据前述分析,地震活动增强特征参数 W_1 反映了中强以上地震前的中期阶段地震活动增强的综合特征,可以认为 W_1 值异常区即为应力相对集中区.本文通过对参数 W_1 值异常的分析表明,一些地震的孕育过程并非简单地随着应力场的增强而最终导致地震发生,而往往在时间和空间上出现多次起伏.这是由于在区域应力场的发展过程中,可以同时出现多个应力集中点,每个应力集中点都直接决定着周围应变的发展,同时也受到区域应力场的控制,其中的一个或几个强应力集中点可能发展为未来的震源.随着某个应力集中点的破裂,即较大地震的发生,将使其周围应力场发生调整,而使某些正在孕育中强以上地震的区域解除或增强应变积累,使得地震活动增强特征参数 W_1 值异常区消失或进一步扩大,从而形成了十分复杂的地震活动图像.这种地震活动图像反映了多应力集中区相互作用和影响的演变过程,表明单一地震的孕育往往寄寓于地震成组孕育的复杂背景之中,追踪单个震源必须与追踪多个震源的成组活动相结合,这也是在实际地震预报中必须注意的.

[参考文献]

- [1] 吴佳翼,曹学锋.地震活动性的定量化问题[J].地震,1983,(6):13-17.
- [2] 王炜,戴维乐,黄冰树.地震震级的统计分布及其地震强度因子 M_f 值在华北中强以上地震前的异常变化[J].中国地震,1994,10(增刊):96-110.
- [3] 王炜,潘坚云,黄冰树.地震空间集中度 C 值及其在地震预报中的应用[A].地震预报实用化研究文集(地震学专辑)[C].北京:学术书刊出版社,1989,127-141.
- [4] 王炜,刘震华.地震时间间隔的统计分布及其地震危险度 D 值在华北大地震前的异常变化[J].地震学报,1987,9(2):113-127.
- [5] 王炜,等.BP神经网络在地震综合预报中的应用[J].地震,1999,19(2):118-126.

THE FORM OF SEISMICITY INCREMENT AND ITS COMPLEXITY

WANG Wei

(*Seismological Bureau of Shanghai City, Shanghai 200062*)

Abstract: The relationship between seismicity enhancement parameter W_1 and corresponding seismicity parameters, and their variation before some earthquakes about $M_s6.0$ are analysed in this paper. The results show that there are three forms on enhancement of seismicity before moderate or strong earthquakes, the first is the enhancement on magnitude, the second is the temporal and spatial cluster of seismicity, the third appears as the first and the second forms concurrently. The variation of dynamic pattern of W_1 value before some earthquakes about $M_s6.0$ shows that seismogenic process is an evolution process of interaction of many stress concentration zones.

Key words: Anomalous increment of seismicity; Earthquake preparation; Stress concentration; Artificial neural network