

多源系统混合前兆场的分离原则、 分离方法和强震时间预报讨论

秦保燕¹, 郭增建¹, 张晓东²

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局分析预报中心, 北京 100036)

摘要: 1995年7月12日~1996年2月3日在云南及邻近地区曾发生过3次强震, 形成了多次地震在短时间内接踵发生的现象. 在这种情况下, 各次地震的前兆场之间的相互叠加是不可避免的. 用“层次法”对各次地震的前兆场进行了分离, 并讨论了分离的原则. 结果表明: (1) 某些震源不同层次点的时间轴上相遇时, 由于叠加作用使异常幅度特别大; (2) 某些震源不同层次点时间相近时, 形成前兆突跳群; (3) 强震前兆和后效前兆明显, 表明未来时段内有强震发生; (4) 在多源系统发震的晚期阶段, 前兆异常明显减弱, 这意味着多源系统趋于解体.

关键词: 云南; 地震前兆; 异常特征; 多源系统; 层次法; 混合前兆分离

中图分类号: P315.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2001)01-0001-06

0 引言

在中国某些地震频发区或正处于地震活动高潮期的地区, 在较短时段内强震往往出现群发现象. 在这种情况下所观测到的前兆异常是多次地震前兆场的叠加, 因而给前兆分析和地震预报造成困难. 为了提高预报水平, 实现混合前兆场的分离就成为十分关键的一步. 本文用“层次法”^[1~3]对1995年7月~1996年2月发生在云南的3次强震($M_s \geq 6.5$)的前兆场进行分离, 由分离后的各前兆层次进一步预测主震位置、震级和发震时间.

1 多源系统前兆场分离的原则和方法

地壳的纵向和横向不均匀性构成了复杂的震源环境. 这种复杂环境是形成地震前兆时空演化复杂性的基本条件. 地壳介质的相对连续性和不均匀性又造成了强震前兆异常的广域性和前兆异常空间分布的不连续性. 当不同的强震震源相距在5个纬度距之内(即震源位于同一地壳块体内或相邻地壳块体内), 相继在某一相对短的时间内发生时(1年内), 它们各自产生的前兆场之间会发生相干作用和前兆的混合. 对于这种情况, 利用“层次法”有可能对混合前兆进行分离.

收稿日期: 2000-01-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49674210). 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2001010

作者简介: 秦保燕(1937-), 女(汉族), 江苏无锡人, 研究员, 现主要从事地震预报研究.

1.1 多源系统前兆场分离原则

由于各震源体大小不同,孕震时段不同,因此当某一震源系统在孕震过程中的某一阶段点或层次点出现显著的地震活动或显著的前兆时,在大多数情况下不会与其它震源引起的前兆时间点相重合.这就是说各震源系统形成的前兆场在时间结构上有相对的独立性.在这种情况下,各震源形成的前兆场是一种混合场,这种混合场原则上是可以分离的.

1.2 多源系统混合前兆场分离方法——“层次法”^[2]

根据“层次法”,孕震前期阶段的长度 T_0 与整个孕震时段 T 之比为 $2/3$,孕震后期即非线性时段长度 T_A 约为 T 的 $1/3$,即:

$$T_0 = \frac{2}{3}T = 2T_A, T_A = \frac{T_0}{2} \quad (1)$$

若已知孕震时间段 T , 设孕震开始时间点为 t_0 , 孕震后期的层次点为 t_1 , 发震的时间点为 t_x , 则

$$t_1 = t_0 + \frac{2}{3}T = t_0 + T_0 \quad (2)$$

$$t_x = t_0 + T$$

求得 t_1 后, T_A 已知,即可由 T_A 作层次点计算了.计算的方法是将时间间隔顺次按 $\frac{1}{5}$ 缩短,即:

$$T_{b1} = \frac{1}{5}T_A, T_{b2} = \frac{1}{5}T_{b1}, T_{b3} = \frac{1}{5}T_{b2}, \dots$$

其通式为:

$$T_{bi} = \frac{1}{5}T_{bi-1}, T_{i+1} = T_x - T_{bi} \quad (3)$$

式中:孕震时间 T (年)与震级的统计关系为^[3]:

$$M = 5.00 + 1.308 \log T \quad (4)$$

由以上公式可计算出不同震级的理论层次量板.

将实际的地震和前兆时间点与理论层次量板进行对照,可选择最佳层次点组合.选中一组层次后,就可以同时知道孕震开始时间 t_0 , 各层次点的时间 t_1, t_2, \dots 和发震时间 t_x 以及孕震时间和震级.确定了某次地震后,可将与此层次相对应的前兆排除,然后再用地震、前兆选层次,再排除,通过不断排除,最终可计算出对应几个中强地震的几组层次并进行试预报.应当指出的是“层次”的时间结构是统计得到的,层次点本身有一定的误差,此外每一个层次点是震源系统应力水平较高的时间,此时外因的调制作用较强,从而会导致实际层次点产生前后移动的情况,这是正常的现象.

2 3次地震的混合前兆场的分离

1995年2月~1996年2月,在云南及邻近地区共发生了3次6.5级以上地震,即1995年7月12日孟连7.3级地震,1995年10月24日武定6.5级地震和1996年2月3日丽江7.0级地震.为了提高层次点的可靠性,选择层次点时主要以近源区的中强地震和场区的小震频次(N)高峰日为依据,同时参考与地震层次日期相近的显著突跳或突变前兆发生的时间.根据文献^[4]的研究,大震前大范围区域内小震高频活动与显著前兆之间存在着因果关系,即小震的高频活动引起前兆突跳或突变,或流体和气体剧烈活动使让位区增加,从而诱发小震发生.前者先发生小震频繁活动,后出现前兆;后者是先出现前兆,随后发生小震高频活动.因而小震活动与显著前兆在时间上具有准同步性.当某些中强地震的短临阶段缺少小震活动时,应重视

震源顶部沉积层本身变形剧烈引起的显著前兆, 并在地震预报中参考使用. 此外, 当前兆资料可靠, 突跳或突变幅度又特别大时, 还可单独用前兆资料建立层次和进行主震时间预测, 再配合地震资料作校核.

表 1 ~ 3 给出了上述 3 次强震的孕震层次和孕震参数预测结果, 以及根据不同层次段对发震时间的预测结果. 关于地点预报, 一般可根据不同层次段线性震中迁移的交汇区的变化跟踪预测主震的位置, 也可以用广义前兆异常区边界交汇法确定主震位置^[5].

表 1 1995 年 7 月 12 日孟连 $M_S 7.3$ 地震孕震层次

层次号	理论层次 (t_i)	中强震层次 (t_i)	小震峰值日频 次(N) 层次(t_i)	各层次段预测 t_x	预测误差 Δt	备注(与地震层次相近的显著突跳型前兆)
t_0	1988-05-14	1988-05-14 上允; $M_6.0$ ($23^\circ N, 99.8^\circ E$)	$97^\circ \sim 107^\circ E$ $20^\circ \sim 30^\circ N$	T_0 : 38 年 15 天 T_A : 19 年 7 月	—	—
t_1	1976-06-22	1976-02-16; $22^\circ 48' N, 100^\circ 42' E$; 5.8 1976-02-19; $22^\circ 42' N, 100^\circ 36' E$; 5.5	1976-05-29	$t_x = t_1 + T_A$ $= 1995-06-05$	- 3 天	—
t_2	1991-09-20	1991-07-01; 保山; $24^\circ 54' N, 99^\circ E$; 5.2 1991-07-22; 施甸; $24^\circ 48' N, 99^\circ 12' E$; 5.2	1991-07-14 $N(23)$	$T_{a1} = 15$ 年 1 月 2 天 $T_{b1} = 3$ 年 9 月 8 天 $t_x = 1995-06-09$	- 33 天	—
t_3	1994-10-08	1994-09-19; 景谷 $23^\circ 36' N, 100^\circ 18' E$ $M_S 5.2$	1994-09-20 $N(6)$ 1994-10-11 ~ 10-23 $N(10 \sim 12)$	$T_{a2} = 3$ 年 2 月 18 天 $T_{b2} = 9$ 月 20 天 $t_x = 1995-07-09$	- 3 天	1994-09 永胜地形变特大异常, 变幅为正常值的 20 倍 1994-09 ~ 1995-09 思茅水汞正异常 1994-10 ~ 1996-05 腾冲 $HC O_3$ 下降异常
t_4	1995-05-17	1995-05-12; 景谷; $M_S 4.9$	1995-05-13 $N(6)$	$T_{a3} = 8$ 月 $T_{b3} = 2$ 月 $t_x = 1995-07-19$	+ 7 天	1995-05-10 ~ 06-26 保山水汞突跳 1995-05-18 洱源 20 井水汞、江干水汞突跳 1995-05-17 ~ 05-31 云县地倾斜 1995-05-19 ~ 05-31 石屏地倾斜突变 1995-05-19 ~ 05-08 临沧深井水温 1995-05-05 ~ 05-13 通海地倾斜
t_5	1995-07-01	1995-06-30 孟连 $M_S 5.5$	1995-07-01 $N(8)$ $N(10 \sim 12)$	$T_{a4} = 41$ 天 $T_{b4} = 10$ 天 $t_x = 1995-07-10$	- 2 天	1995-06-30 楚雄地磁
t_6	1995-07-10	1995-07-10 孟连 $M_S 6.4$	1995-07-04 $N(8)$	$T_{a5} = 10$ 天 $T_{b5} = 2.5$ 天 $t_x = 1995-07-12$	0	1995-07-10 洱源 20 井水汞 1995-07-10 思茅水汞
孕震 参数 数	T_0 : 38 年 1 月 10 天 T_A : 19 年 20 天 T : 57 年 2 月 $M_x = 7.3$	T_0 : 38 年 15 天 T_A : 19 年 1 月 8 天 T : 57 年 1 月 23 天 $M_x = 7.3$	$\frac{T_0}{T_A} = \frac{38.04}{19.10} = 1.99$ $\frac{T}{T_A} = \frac{57.15}{19.10} = 2.99$	$t_x = 1995-07-07$	- 5 天	前兆异常见文献[6]

从表 1 ~ 表 3 可见, 有些前兆异常时间点为 2 次强震甚至 3 次强震所共有(见文献[5] ~ [7] 中的前兆图). 1995 年武定地震前在 t_2 层次点近源区缺震, 此层次只能从场区 II 型地震迁移线在震前与主震区交汇的时间来确定. 这种在整个孕震过程中缺少某一层次的现象可能在其它地震中也会出现. 因为调整单元的强烈调整运动, 不一定总有显著的地震活动相伴. 此外从短临前兆方面看, 在孟连 7.3 级地震后曾出现几批前兆, 即 1995-08-01 ~ 03, 1995-09-09 ~ 15, 1995-09-24 ~ 30, 1995-10-05 ~ 11, 1995-10-17 ~ 18, 1995-10-22 等, 将这些前兆点作为层次点且进行不同的组合, 则所得的预测时间与实际地震发生时间均很接近. 因此从短临前兆的时间点来看, 武定地震还可能存多层次孕震结构.

3 有关问题讨论

(1) 不同震源不同层次点在时间轴上相遇时, 由于叠加作用使前兆异常幅度特别大. 1994 年 9 月永胜场地基线的异常非常突出, 相当于平时正常变化的 20 倍, 但 1994 年 9 月 19 日仅在景谷发生了 5.2 级地震. 这样的大幅度的前兆异常与景谷地震的震级不相符. 但从未来有强

表2 1995年10月24日武定 $M_S6.5$ 地震孕震层次

层次号	理论层次 (t_i)	中强震层次(t_i)	小震层次 t_i	发震时间 预测 t_x	预测误差 Δt	备注 (显著前兆出现日期)	
t_0	1977-02-07	1977-05-03	1977-02-07; 木里; 5.1 1977-05-03; 木里; 5.1; 27°8'N, 101°06'E	$\frac{1977-05-03}{N(41)}$ (97° ~ 107°E, 20° ~ 30°N)	$T_0 = 12$ 年4月17天 $T_A = 6$ 年2月8天	—	
t_1	1989-07-28	1989-08-31	1988-04-15; 东川; 26°23'N, 102°32'E 1989-09-20; 嵩明; 5.1; 25°24'N, 103°06'E	$\frac{1989-09-20}{N(9)}$	$t_x = t_1 + T_A$ = 1995-11-28	+1月4天	
t_2	1994-07-24	1994-08-01	震中区缺震, 场区有 线性震中迁移线 (1994-08-14 ~ 08- 25) 通过震中区附近	$\frac{1994-07-31}{N(3)}$ $\frac{1994-08-25}{N(7)}$	$T_{a1} = 4$ 年10月1天 $T_{b1} = 1$ 年2月16天 $t_x = 1995-10-07$	-17天 1994-07 澜沧深井水温大幅度下降 1994-09 永胜地形变大幅度变化	
t_3	1995-07-24	1995-07-25	—	$\frac{1995-07-26}{N(6)}$ $\frac{1995-07-04}{N(8)}$	$T_{a2} = 1$ 年5天 $T_{b2} = 3$ 月1天 $t_x = 1995-10-27$	+3天 1995-08-01 怒江水氧正常开始 1995-08-01 保山水温持续快速上升 1995-08-02 临沧 F^- 大幅度波动开始 1995-08-03 普洱水氧波动大 1995-07-03 ~ 07-26 孟连水氧大幅度 变化	
t_4	1995-10-06	1995-10-07	—	$\frac{1995-10-02}{N(6)}$	$T_{a3} = 2$ 月6天 $T_{b3} = 17$ 天 $t_x = 1995-10-19$	-5天 1995-09-27 ~ 28 玉溪水氧单点突升 1995-09-28 ~ 10-05 龙陵水氧高点突 升 1995-09-30 ~ 10-06 弥渡水氧单点突 跳	
t_5	1995-10-20	1995-10-20	—	$\frac{1995-10-20}{N(7)}$	$t_{a4} = 18$ 天 $T_{b4} = 4.5$ 天 $t_x = 1995-10-24 \sim 25$	0天 $\Delta t =$ +3天 1995-10-17 ~ 22 洱源江干水氧突跳 1995-10-22 ~ 27 龙陵 F^- 负异常	
孕震 参数	T_0 : 12年5月22天 T_A : 6年2月26天 T : 18年8月17天 $M_x = 6.5$	T_0 : 18年5月22天 T_0 : 12年3月24天 T_A : 6年1月27天 $M_x = 6.5$	T_0 : 12年4月17天 T_A : 1995-10-27 ~ 1989-09-20 = 6年1月7天 $T = 18$ 年5月24天 $M_x = 6.5$	$\frac{T_0}{T_A} = \frac{12.37a}{6.1} =$ 2.03 $\frac{T}{T_A} = \frac{18.48}{6.1} =$ 3.03	$t_x = 1995-10-27$	—	前兆异常见文献[5]

表3 1996年2月3日丽江 $M_S7.0$ 地震孕震层次

层次号	理论层次(t_i)	中强震层次(t_i)	小震频次(N) 峰值层次(t_i)	预测(t_x)	Δt	备注(与地震层次相近的显著突跳型前兆)
t_0	1951-12-21	1951-12-21; 剑川 $M_6.4$ 26.7°N, 100.0°E	统计区 97° ~ 107°E	T_0 : 29年4月17天 T_A : 14年8月11天	—	—
t_1	1981-05-19	1981-05-22; 丽江 5.8 27.9°N, 101.2°E	—	t_x : 1996-02-01	-2天	—
t_2	1993-02-24	1992-12-18, 12-22; 永胜 5.5, 5.1 26°22'N, 100°35'E 1993-01-01; 大跳 5.3 25.9°N, 101.4°E 1993-07-14; 中甸 5.6, 27.9°N, 99.6°E 1993-08-14; 姚安 5.6, 27.9°N, 99.6°E	$\frac{1993-02-01}{N(9)}$	T_{a1} : 11年8月12天 T_{b1} : 2年11月3天 t_x : 1996-01-04	-30天	—
t_3	1995-07-01	1995-06-30; 孟连 5.5	$\frac{1995-07-01}{N(14)}$	T_{a2} : 2年4月29天 T_{b2} : 7月7天 t_x : 1996-02-08	+5天	1995-06-29 洱源江干水氧突跳(94%) 1995-07-02 洱源20井水氧突跳(61%) 1995-07-03 孟连水氧巨变 1995-07-05 楚雄地磁巨变 1995-06-25 ~ 07-10 思茅水氧(29.5%)突变
t_4	1995-12-20	—	$\frac{1995-12-20}{N(8)}$	T_{a3} : 5月8天 T_{b3} : 1月10天 t_x : 1996-01-28	-6天	1995-12-17 玉溪水氧连续性突降 1995-12-18 洱源江干水氧突变 1995-12-18 易门水氧连续性突跳 1995-12-22 弥渡水汞连续突跳 1995年12月中旬洱源流速比起伏加副达最高值
t_5	1996-01-26	—	$\frac{1996-01-30}{N(4)}$	T_{a4} : 50天; T_{b4} : 10天 t_x : 1996-02-09	+6天	1996-01-26 曲江水氧突跳 1996-01-26 龙陵水氧突跳
t_6	1996-02-01	T_0	—	$t_x = 1996-01-29$	-5天	1996-02-01 施甸水氧突跳 1996-02-01 曲江水氧突跳结束
孕震 参数	T_0 : 29年4月28天 T_A : 14年8月14天 T : 44年1月12天 $M_x = 7.1$	T_0 : 29年4月17天 T_A : 14年8月7天 T : 43年12月24天 $M_x = 7.1$	$\frac{T_0}{T_A} = 2.0$	$\frac{T}{T_A} = 2.99$	—	前兆异常见文献[6]

震发生、该区总体应力水平高以及它是 2 次地震的共用层次来看, 上述异常这样大就不难理解了。如前所述, 由于每个地震的层次点有一定误差, 当几次地震的层次点相互叠加时, 往往会出现前兆突跳群, 如 1995 年 5 月 17~19 日多种前兆观测手段出现异常, 其中云县地倾斜测值比正常值大 6~15 倍, 保山水汞出现大幅度突跳, 石屏地倾斜及临沧、景谷深井水温出现大幅度变化等。

(2) 中强地震前兆和后效前兆明显, 表明未来时段内有强震发生。一般说来, 中强地震的前兆变化幅度和异常范围都应该比较小(孕震区小, 调整单元相对小, 调整幅度相对小), 然而在 1995 年 4 月 25 日金平 $M_L 5.4$ 和 4 月 26 日沐川 $M_L 5.1$ 地震前后, 一些观测手段测值的突跳幅度特别大, 表明 1995 年云南地区整体应力-应变水平比较高, 这可能是判断存在多源系统并有更强地震发生的依据。

(3) 多源系统后期异常特征: 1996 年 2 月 3 日丽江地震临震前的前兆异常幅度、突跳数目均较前段时间大为减少, 这可能是多源系统进入后期阶段的表现, 因为在此阶段前兆混合、叠加的情况已大为减少, 多源系统中大部分地震已发生, 它们的孕震层次演化已宣告结束。此外, 由于多次地震的发生, 地壳内引起前兆突变的物质条件需要恢复和补充, 从而也会导致异常幅度减小。因此往往前期突跳异常明显的前兆观测项目, 后期前兆反映不好。而以往在前期无前兆表现的观测项目在后期反而有异常反映, 这在其它震例中也常有发现。在这种情况下, 应防止漏报最后一次地震。

上述讨论的判据仅是一种定性指标, 必须与“层次法”相结合才有可能对前兆的归属进行判定, 进而分别对多源系统中各次地震或部分强震进行预报。

4 结束语

值得指出的是, 在用“层次法”进行混合前兆场分离和对多源系统中的地震进行预报时, 必须以整个孕震过程的阶段性和层次性作为基础, 脱离整个孕震过程的短临预报或混合前兆的分离都是不可取的。此外, 在研究孕震层次的时间特征时必须同时研究不同层次段的空间分布特征, 这样才能对未来主震发生的地点作出较准确的预报。

[参考文献]

- [1] 秦保燕. 地震成因的综合模型和强震预报[J]. 西北地震学报, 1996, 18(4): 104—111.
- [2] 秦保燕. 由孕震后期非线性层次演化探讨短临预报问题[J]. 地震研究, 1998, 21(1): 1—12.
- [3] 秦保燕, 白建华. 前兆起伏加剧与短临地震预报[J]. 西北地震学报, 1989, 11(4): 14—24.
- [4] 秦保燕. 强地震地点预报方法——交汇法[J]. 内陆地震, 1997, 11(2): 103—111.
- [5] 陈立德, 罗平, 傅红, 等. 1995 年 7 月 12 日云南孟连中缅边界 7.3 级地震中、短临预报及前兆异常特征[J]. 地震, 1997, 17(1): 1—10.
- [6] 杨杰英. 武定 6.5 级地震前的水化学异常[J]. 华南地震, 1997, 17(1): 50—57.
- [7] 郭绍忠, 李丽清. 丽江 7.0 级地震地下流体异常特征[J]. 地震研究, 1997, 20(1): 117—124.

**A DISCUSSION ON THE PRINCIPLE AND METHOD OF SEPARATING MIXTURE
PRECURSORS OF MULTIPLE SOURCES AND PREDICTION OF
STRONG EARTHQUAKE OCCURRENCE TIME**

QIN Bao-yan¹, GUO Zeng-jian¹, ZHANG Xiao-dong²

(1. *Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China;*

2. *Center for Analysis and Prediction, CSB, Beijing 100036, China*)

Abstract: There were three strong earthquakes to occur from July 12, 1995 to February 3, 1996 in the Yunnan province and its vicinity. These earthquakes formed a phenomenon of successive occurrence of multiple events. In this case, it is necessary that the precursor fields are formed by every earthquake to superpose mutually. The mixture precursor fields may be separated by the hierarchy method. And principle of separating mixture precursor fields is discussed. The results are following: (1) When precursors of different hierarchy of every earthquake meet each other, its synthetic amplitude becomes very big due to superposition. (2) When the appearing times of precursor of different hierarchy of every earthquake are near, the group of jump-like precursor appeared. (3) If an strong earthquake not only has obvious precursor, but also has obvious precursor-like after the earthquake, there will be other strong earthquakes to occur in the near future time. (4) If in the later period of the multiple source system, the anomalies much more become weak, it means that procedure of generating earthquake of the multiple source system is going to end.

Key words: Yunnan; Earthquake precursor; Anomalous character; Multiple source system; Hierarchy method; Separation of mixture precursor