共和地震前兆起伏加剧的层次性与大震的跟踪预报

秦保燕 李佐唐

(国家地震局兰州地震研究所，兰州 730000)

摘要 基于大震前前兆起伏加剧具有普适性的特征，本文研究了1990年共和M_S7.0地震前地震频次、小震调制比、地下水中氡含量及泉水流量等异常起伏加剧的多层次性。结果表明，各台大多数前兆异常可分出3个层次。综合分析各台前兆异常的起伏加剧现象，可以发现，该次地震前异常群体的演变过程可分为4个层次，本文结合孕震过程对4个层次进行了分析。根据大震前兆起伏加剧的多层次性可以对大震进行跟踪预报。

主题词： 青海 强震 地震前兆 层次结构 共和地震 起伏加剧 跟踪预报

1 引言

在一个地壳块体内往往存在多个震源，它们各处于不同的孕震阶段。在多震源体系中如何实现单个地震的短临预报是目前地震预报中遇到的最为困难的问题之一。文献[1]根据对强震资料的统计曾得到了地震活动性和前兆异常时段的上一层次与下一层次之比为5的普适数，并以唐山和海城地震为例对其前兆异常进行了分离。近年来，在研究地震前小震调制比异常时发现，大震前近源区小震调制比随时间的变化呈现起伏加剧现象，而且在第3次起伏的峰值处或峰值后发震[2]。本文试图以青海共和7.0级地震为例，讨论前兆起伏加剧的层次性和层次演化过程及根据前兆起伏加剧的层次性进行大震的跟踪预报的方法。

2 前兆起伏加剧的普适性

文献[2]详细地论述了小震调制比在主震前近源区出现起伏加剧的震例，而且发现主震一般发生在第3次起伏加剧的峰值或峰值之后，并认为前者是由于发震前震源附近调整单元调整能力较差而后者是调整能力较强造成的。很显然，前兆起伏加剧是一种既反映震源区位置又反映发震时间的重要预报指标。但前兆的这种起伏加剧现象是否在地震前兆中具有普适性这是我们最为关心的问题之一。为此我们分析了以往的震例资料，发现诸如地震频次、蠕变曲线、b值以及其它各种前兆，它们在强震前大多有明显的起伏加剧现象，而且它们在主震前大多表现为3次起伏。下面对5次强震震例进行分析，它们的部分前兆的起伏加剧现象如图1所示。

对图1所示的5次震例资料进行分析，可以得到以下认识：

(1)强震之前地震频次随时间的变化存在起伏加剧现象，且在第3次起伏的峰值处或峰

值后发震。

(2)海城大震前b值、$\sqrt{E}$、N、空区内外频次比和金县水准的变化不仅出现3次起伏加

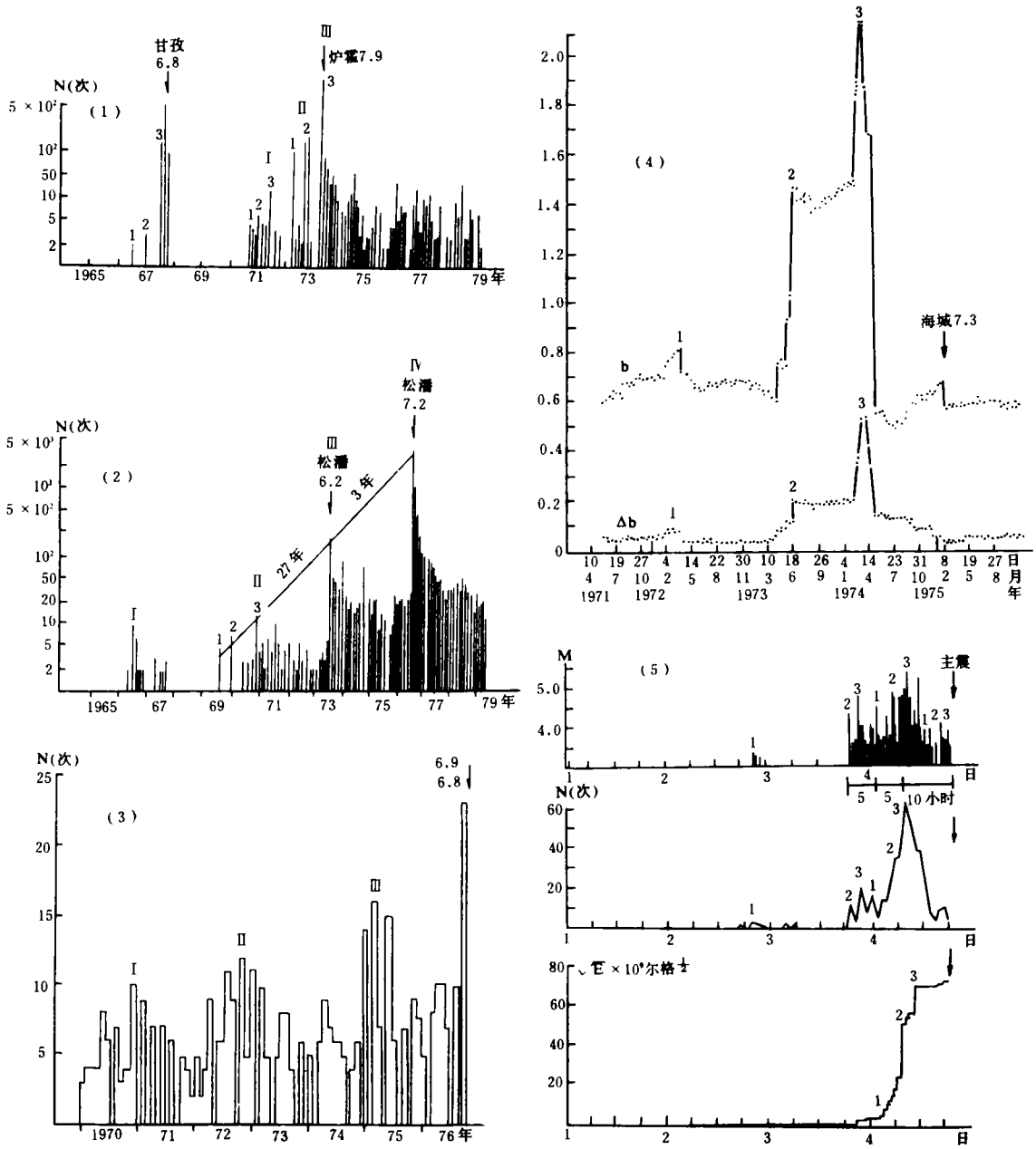


图1 中国部分强震前兆的起伏加剧现象

①鲜水河断裂带地震月频次图(据韩渭宾等);②松潘地震带地震月频次图(据韩渭宾等);③木里—盐源—中甸地区 $M_L \geqslant 2.0$ 地震频次图(据李丹阳等);④海城地震前后b值变化曲线;⑤海城地震前震序列特征

Fig. 1 The precursory fluctuation intensification phenomenon of a part strong earthquakes in China.

剧现象，而且还显示了某种层次性，即表现为不同时间尺度的起伏加剧[4]。表 1 列出了海城大震前各异常项目的有关数据。

由表 1 可见，空区内外频次比的起伏加剧时间尺度最长，起伏加剧的周期为 2 至 3 年；其次为 b 值，其周期为 1 年左右；金县水准为 8 个月，短临阶段为 4 小时和 8 小时。由此看来，不同时间尺度的起伏加剧现象可分为 4 个层次，它很可能是不同孕震阶段的反映。

表 1　1975 年 2 月 4 日海城大震前各异常项目起伏加剧的层次

前兆种类	层次	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_x	备注
空区内外频次比：$(N_{外}+1)/(N_{内}+1)$	第一层次	3 年	2 年	6 年	ΔT_i 为起伏峰峰之间的时间间隔，ΔT_x 为第 3 次起伏峰值至发震的时间间隔
b	二	14 月	12 月	12 月	
金县水准	三	8 月	8 月	4 月	
N	四	9 时	5 时	16 时	
$\sqrt{E}$	四	8 时	4 时	16 时	

(3)不同层次的起伏加剧具有准周期和倍周期的时间特征。海城大震前不同层次的前兆起伏加剧的时间间隔似有准周期、倍周期特征(表 1)。此外，其它地震前 N—t 曲线的起伏加剧周期也似有类似特征(图 1)，表 2 列出了有关数据。

表 2　4 次强震前 N-t 曲线的起伏加剧的层次性

日期	震中	M_S	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_x	$\Delta T_1/\Delta T_2$
1967—08—30	甘孜	6.8	1 年	1 年	2 月	1
1973—02—06	炉霍	7.6	18 月	6 月	0	3
1976—08—16	松潘	7.2	2.7 年	2.5 年	3 年	近似于 1
1976—11—07	盐源	6.7	1.8 年	2.8 年	1.5 年	0.64

虽然本文仅列举了部分震例，但事实上，大震前的前兆的起伏加剧现象及其所表现的层次性特征是比较普遍的。前兆现象的上述异常特征以及它们具有的长、中、短临起伏加剧的层次性为实现大震的预报提供了可能。

3　1990 年共和地震前的前兆起伏加剧现象

本文根据文献[3]对共和地震的前兆现象的变化特征进行了回顾性总结。由该次地震前小震调制比异常多发区的交汇部位可初步确定其震中位置为北纬 36 度，东经 100 度。此预测点与实际震中位置接近。本文围绕上述震中位置对共和地震前的小震活动、地下水氡含量、泉水流量等前兆资料的起伏加剧和层次性进行分析。

3.1　地震活动频次随时间的起伏加剧

统计北纬 36°、东经 100° 为中心的 2° ×2° 范围内的地震月频次随时间的变化，1981—1994 年地震活动的 N-t 图如图 2 所示。由图 2 可见，共和地震前小震活动频次出现两个层

次的起伏加剧，第一个层次的3次起伏时间分别为1983年8月、1986年3月和1989年1月，其中最后一次起伏高峰至发震有15个月的相对平静期。第二个层次的3次起伏时间分别为1988年2月、1988年6月和1989年1月。可以看出，前一个层次的3次起伏加剧之间的时间间隔较长，约2.6年(31月)和2.8年(34月)，第二个层次的时间间隔短，分别为4个月和7个月。两个层次中最后一次起伏的峰值至发震的时间间隔均为15个月，为震前平静期。对于这种平静期可以用地震前震中区深部存在向上的垂直力的作用来解释。当深部的垂直力向上作用时可使共和地区地壳内具有一定倾向的断层面上的正压力增大，从而大大降低发震能力，形成较大范围的地震空区[5]，共和地震前后在震中区及其附近地壳出现了前所未有的隆起就是一个佐证*。

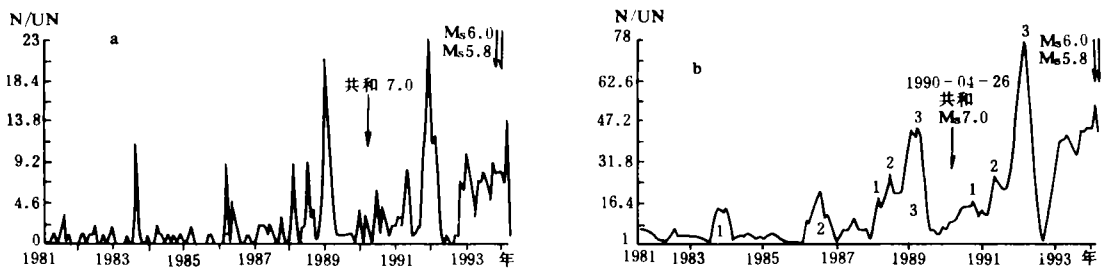


图2 共和地震前后地震活动频次随时间变化曲线

a. 月频次；b. 逐月滑动

Fig. 2 The temporal variation of earthquake frequency before and after the Gonghe earthquake.

为讨论前兆的不同时间尺度的起伏加剧层次性，本文以共和地震前小震调制比的变化为例进行分析。统计区以北纬36°，东经100°为中心，范围为2°×2°。由图3可见，小震调制比的起伏加剧是从1987年开始的，其起伏周期约为1年左右。将图3与图2的N-t图相对比可以发现，小震调制比的起伏加剧结束时间与N-t图中的第三个层次的起伏加剧峰值

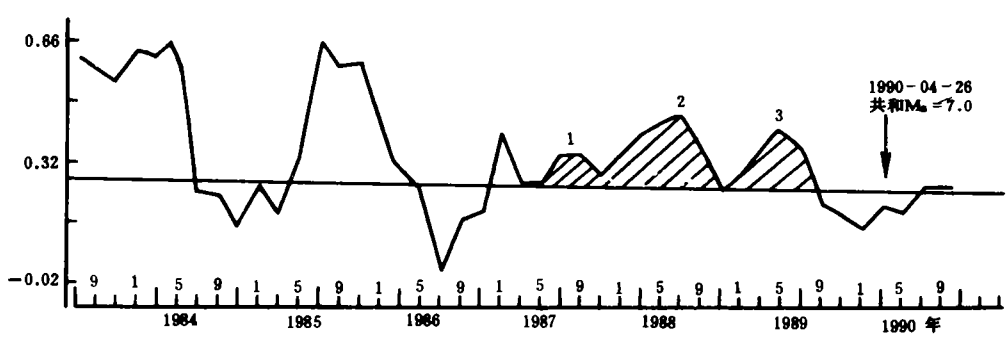


图3 共和地震前小震调制比起伏加剧异常

Fig. 3 Fluctuation intensification anomaly of modulation ratio of small earthquakes before the Gonghe earthquake.

* 青海省地震局

时间相一致。恢复一段时间后才发震。这表明共和地震前震中区及附近较大范围内的地震活动处于平静阶段（除兴海震群外），所以，单纯用地震活动性资料进行短临阶段的跟踪预报比较困难。然而，在这一时段震中区及周围的其他前兆异常却十分明显，综合分析各类前兆的变化，就可以弥补单纯用地震活动性资料的不足。

3.2 地下水氡含量及泉水流量的多层次起伏加剧现象

图 4 为共和地震震中周围 59—220 km 范围内的地下水氡含量和泉水流量变化情况。由图 4 可见，强震前地下水氡含量和地下泉水流量均呈现长、中、短临 3 个层次的起伏加剧现象，而且它们之间存在着某种有序的跟踪关系。即大层次结束，中层次出现，中层次结束，短临层次又出现。表 3 列出了有关数据。

由表 3 可以看到，大多数台站的异常表现有 3 个层次。

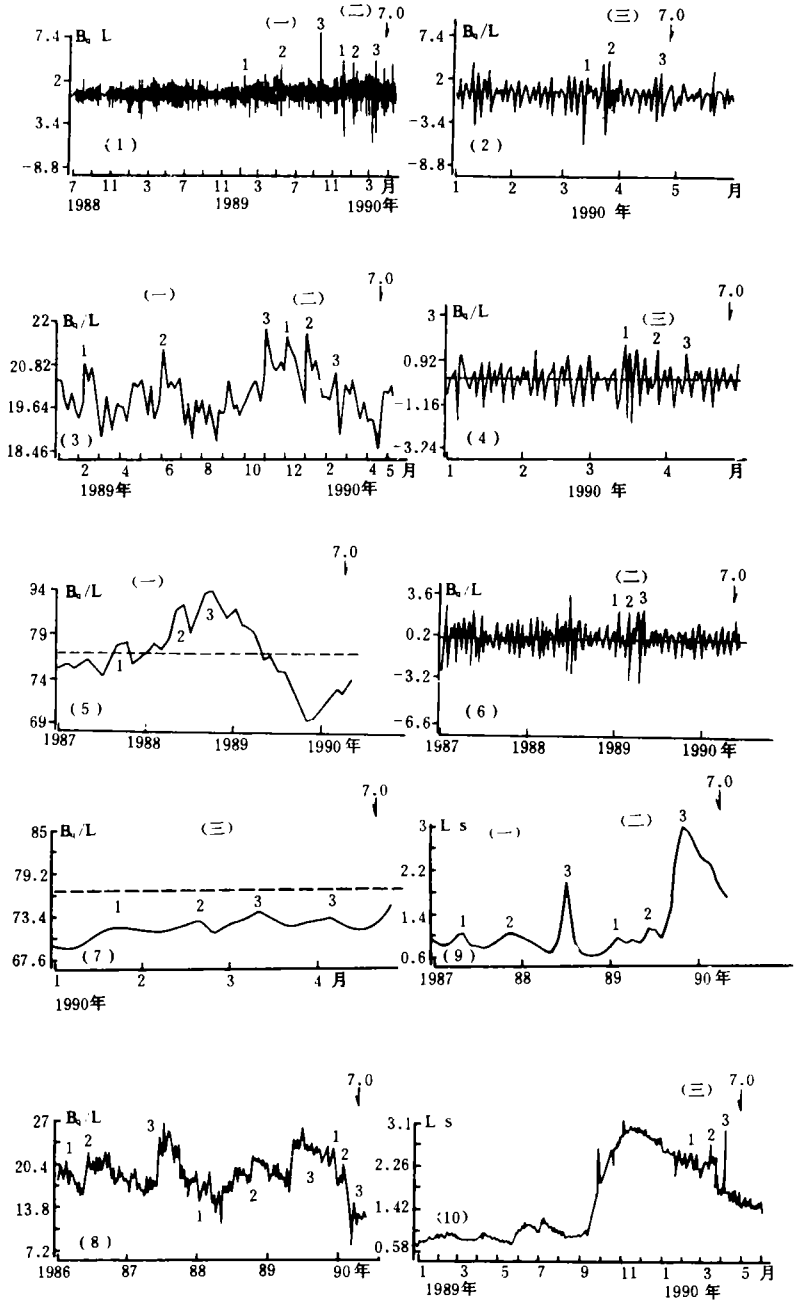
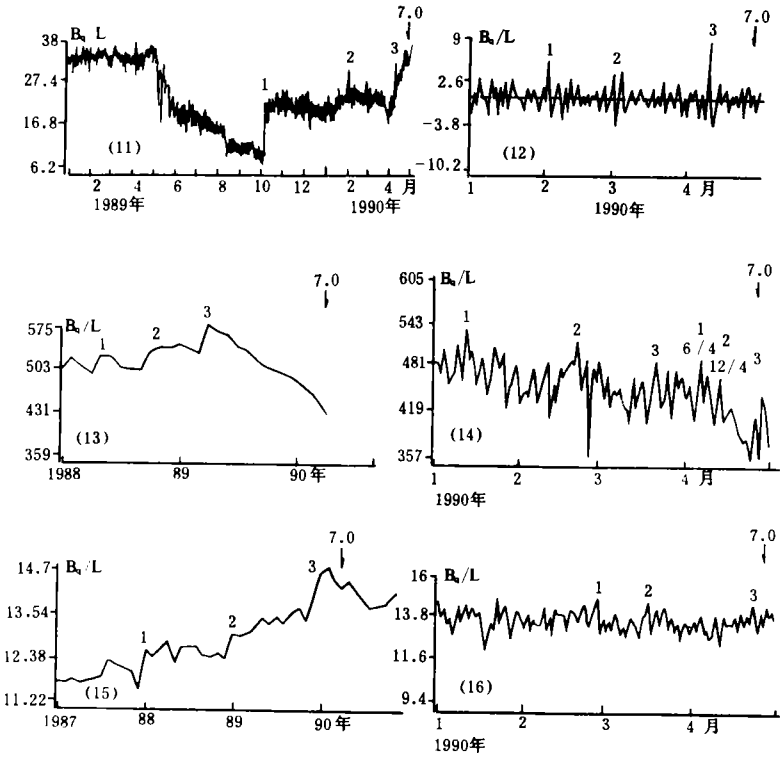


图 4　共和地震前兆起伏加剧和起伏加剧层次

(1)(2)青海共和水氡日值五点剩余曲线；(3)(4)青海贵德水氡五日均值和日值五点剩余曲线；(5)(6)青海湟源水氡月均值和五日均值五点剩余曲线；(7)青海湟源水氡五日均值；(8)西宁水氡五日均值；(9)(10)湟源泉水流量月均值和日变化曲线；(11)(12)青海互助水氡日值和日值五点剩余曲线；(13)(14)青海乐都水氡月均值和日值曲线；(15)(16)青海民和水氡月均值和日值曲线

Fig. 4　Precursory fluctuation intensification and its hierarchy of the Gonghe earthquake.

前两个层次大多出现在1988年2月至1988年9月和1989年2月至1990年1月这两个时段附近，第三层次大多出现在震前2个月。最后一个层次的第三次峰值出现至发震的时间间隔大多在2天至17天之间，因此已属短临阶段，具体发震时间可由外因对前兆起伏峰日调制的情况外推，也可根据第三次峰值后最早遇到的外因外推。推算的发震日期大多集中在1990年4月21—26日。此外还可根据前兆异常的倍九特征按倍九法外推发震日期，据此推得的发震日期大多集中在4月19和4月28两天。



续图4

4 多台前兆起伏加剧层次的综合研究

将表3中各台的前兆起伏加剧的层次以及有关数据进行综合对比，可以发现以下基本事实：

(1) 4个层次接踵出现。各台前兆起伏加剧的群体表现可分为4个层次，如图5所示。在图5中对于临震前的层次，将其时间轴进行了放大。由图5可见，4个层次大多是相继出现的，即第一个层次结束，第二个层次出现，第二个层次结束，第三个层次出现，依此类推。

(2) 外围台站最早出现异常，并以一定速度向近震中区台站传播。从第三层次开始，又反过来，异常在近震中区的台站先出现，然后向外围传播，每个层次的传播速度如表4所示。由表4可见，愈临近主震，异常传播速度愈快。这说明临震前大范围介质的调整运动向更加协调统一行动发展，出现了长程关联，大震即将发生。应当指出，靠近震中区的共和台其前兆的4个层次仅出现3个，这意味着震源区是最稳定的地区，是最后失稳的地区。因此，各台短临阶段的前兆的层次性同时出现时，表明震源区即将失稳。

(3) 在第三和第四个层次还出现前兆异常的反传的现象，即先由震中区向外传播，然后再由外围向震中区方向传播。反传点约在民和附近。民和台已靠近南北地震带，故反传可能是应变传至块体边界后产生的一种反馈现象。

表 3　共和 7.0 级地震前地下水氡、地下水流量起伏加剧的层次性

前兆项目	台站 震中距△	起伏加剧的层次及峰值时间	峰峰间隔	末次起伏至发震的时间	预测的发震日期
地震频次	N35－37 E99－101	(一)1983－08,1986－03,1989－01 (二)1988－02,1988－06,1989－04	31 月　34 月 4 月　10 月	15 月 12 月	
小震调制比	N34－36 E99－101	(二)1988－07,1989－07,1990－04	12 月　9 月	0	
水氡	共和 △＝59 km	(一)1989－01,1989－05,1989－09 (二)1989－12,1990－01,1990－03 (三)1990－03－12,1990－03－25, 1990－04－19,1990－04－22	4 月　4 月 1 月　2 月 13 天　25 天	4 天	4 月 23－26 日
水氡	贵德 △＝103 km	(一)1989－02,1989－06,1989－11 (二)1989－12,1990－01,1990－02--06 (三)1990－03－15,1990－03－28, 1990－04－09	4 月　5 月 1 月　1 月 13 天　12 天	17 天	4 月 21－26 日
水氡	湟源 △＝122 km	(一)1987－10,1988－06,1988－10 (二)1989－01－15,1989－02－25, 1989－04－05 (三)1990－01－25,1990－02－25, 1990－03－15,1990－04－10	8 月　4 月 40 天　40 天 31 天　20 天 25 天	16 天	4 月 21－26 日
流量	湟源 △＝122 km	(一)1987－05,1987－11,1988－07 (二)1989－02,1989－06－07,1989－11 (三)1990－02－15,1990－03－25, 1990－04－10	6 月　8 月 5 月　4 月 40 天　15 天	16 天	4 月 21－26 日
水氡	西宁 △＝140 km	(一)1986－02,1986－06,1987－09 1986－09 (二)1988－02,1988－11,1989－07 (三)1989－12－10,1990－02－10, 1990－03－30	7 月　12 月 9 月　8 月 50 天　50 天	27 天	4 月 6－10 日
水氡	互助 △＝180 km	(一)1989－10－06,1990－02－02, 1990－04－09 (二)1990－02－02,1990－03－01 1990－03－03 1990－04－09	116 天　67 天 27 天　37 天	17 天	4 月 21－26 日
水氡	乐都 △＝183 km	(一)1988－05,1988－11,1989－04 (二)1990－01－12,1990－02－21, 1990－03－21 (三)1990－04－06,1990－04－13, 1990－04－24	6 月　5 月 40 天　29 天 7 天　11 天	2 天	4 月 26 日
水氡	民和 △＝220 km	(一)1988－01,1989－01,1990－01 (二)1990－02－26,1990－03－17, 1990－04－22	12 月　12 月 19 天　36 天	4 天	4 月 24－26 日

备注：朔日 4 月 26 日，3 月 28 日；立春 2 月 4 日；惊蛰 4 月 6 日；望日 4 月 11 日(1990 年)

表 4 前兆异常在空间上的传播速度

层次序号	一	二	三	四
异常传播速度(公里/天)	0.83	0.81	0.59	16.2

(4) 在第三和第四个层次中大多数峰值异常与朔、望、节气、磁暴这三种外因有关，根据短临预报的调制模式[5]，在短临阶段外因对前兆有强调制作用，由此可判断大震震源区已接近失稳，大震即将发生。

(5)将第三层次和第四层次进行对比，可以发现第三层次很多台的起伏加剧不完整，而第四层次大多数台的起伏加剧较完整，这也说明临震前震源区介质出现与外围协调一致的调整运动，这将导致震源区应力更加集中，从而有利于大震发生。

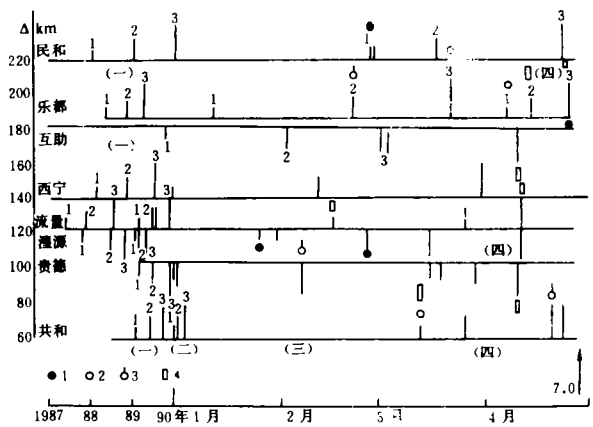


图 5 共和地震前泉水流量和水氡前兆异常的层次综合分析图

1. 朔日； 2. 望日； 3. 节气； 4. 磁暴(K≥6)

Fig. 5 The comprehensive analysis on precursory anomalies hierarchy of radon in groundwater and hydraulic discharge in spring before the Gonghe earthquake.

5 结论

将地震活动性和前兆相结合，跟踪它们起伏加剧层次的演化，有可能是实现强震短临预报的重要途径。由于不同的强震其孕震的开始时间不同，这样我们就有可能对同一地壳块体内多个震源的前兆异常进行分离，从而实现对单个强震的短临预报。文献[2]和本文总结得到的前兆的 3 次起伏及其多层次演化特征有可能是强震前兆的普适性特征，值得在今后的地震预报实践中作进一步的探索。

地震预报目前仍处于探索阶段，不同的强震除了有共性特征之外，还有其个性特征。无疑抓住共性特征是突破预报的关键。虽然目前总结的震例很少，但确是很有吸引力的探索方向。此外造成起伏加剧和层次性的机理尚待对更多震例进行总结后再加以探讨。

(本文 1994 年 12 月 12 日收到)

参考文献

1 秦保燕. 从现代统计物理学的观点探讨大震预报. 科学通报，1987，(23)

2 秦保燕，张晓东，王裕仓，郭星全. 震源系统小震调制比和异常面积起伏加剧的时空特征与强震的中、短期预报. 西北地震学报，1994，16(3)

3 秦保燕，郭星全，王裕仓. r_s 双区异常与强震中短期预报. 灾害学，1994，9(4)

4 国家地震局分析预报中心第一研究室. 中国地震前兆资料图集. 北京：地震出版社，1984

5 郭增建，秦保燕. 地震成因和地震预报. 北京：地震出版社，1981

THE HIERARCHY OF PRECURSORY FLUCTUATION INTENSIFICATION OF THE GONGHE EARTHQUAKE AND PREDICTION BY FOLLOWING THE TRACKS OF STRONG EARTHQUAKE

Qin Baoyan and Li Zuotang

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Lanzhou* 730000)

Abstract

Based on the universal law of precursory fluctuation intensification before strong earthquakes, this paper takes the 1990 Gonghe strong earthquake as an example to study multi-hierarchy of the precursory fluctuation intensification of the small earthquake frequency, the modulation ratio of small earthquakes, radon in groundwater and hydraulic discharge in spring before the earthquake. According to the phenomenon authors considered that the multi-hierarchy of the precursory fluctuation intensification is an important path for prediction by following the tracks of a strong earthquake.

Key words: Fluctuation intensification, Tracking prediction, Qinghai, Strong earthquake, Earthquake precursor, Level structure, Gonghe earthquake