

曹景鹏、牛安福、李媛等, 2014, 芦山  $M_s 7.0$  地震前近震源区地形变熵特征研究, 中国地震, 30(4), 523~533。

# 芦山 $M_s 7.0$ 地震前近震源区 地形变熵特征研究

曹景鹏<sup>1)</sup> 牛安福<sup>2)</sup> 李媛<sup>1)</sup> 闫伟<sup>2)</sup> 张凌空<sup>2)</sup>

1) 中国地震局地震预测研究所, 北京市复兴路63号 100036

2) 中国地震台网中心, 北京市西城区三里河南横街5号 100045

**摘要** 2013年4月20日芦山  $M_s 7.0$  地震是继2008年汶川  $M_s 8.0$  地震后发生在龙门山断裂带的又一强震, 与汶川地震相似, 该震临震前在近震源区未观测到显著的异常变化。为研究其临震前形变特征, 本文根据信息熵理论对芦山  $M_s 7.0$  地震前近震源区的连续形变观测资料进行了年变熵率值分析, 并研究其时序上的分布特征。结果表明, 震前近震源区台站地倾斜形变熵均表现出减熵现象, 时序的年尺度熵结果表明, 汶川  $M_s 8.0$  地震对芦山  $M_s 7.0$  地震具有一定的触发作用, 且震中区的EW向和NS向分量具有高度一致的熵变趋势。

**关键词:** 芦山地震 龙门山断裂带 形变熵 地倾斜

[文章编号] 1001-4683(2014)04-0523-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

据中国地震台网中心测定, 北京时间2013年4月20日08时02分, 在四川省雅安市芦山县(30.3°N, 103°E)发生  $M_s 7.0$  地震, 震源深度13km (<http://news.ceic.ac.cn/CC20130420080246.html>)。

该次地震是2008年汶川  $M_s 8.0$  地震5年后发生在龙门山断裂带的又一高角度逆冲型强震(曾祥方等, 2013), 主破裂发生在汶川地震后的库仑应力增加区域(王为民等, 2013)。这2次大震还具有一相似的特征, 即震前在近震源区的形变观测数据未表现出显著的异常变化, 这使国内外许多学者感到困惑。根据以往对大震的总结研究, 前兆异常的项目、种类、密度、幅度、持续时间、分布范围等通常会随着潜在地震震级的增大而增加(江在森等, 2009), 即在大震前应能观测到显著的形变异常信息如地形变的突变或加速变形等。因此芦山地震震前近震源区是否存在显著而未被关注到的异常形变信息, 便成为值得深入探讨的问题。

根据前人(朱令人, 1988; 朱令人等, 1990)研究, 孕震区可看作一个不断与外界进行物质和能量交换的开放系统, 地壳的长期构造运动为其提供应力-应变能, 导致孕震体内不均

[收稿日期] 2014-01-06; [修定日期] 2014-12-06

[项目类别] 国家科技支撑计划项目(2012BAK19B02)及地震行业项目(201108009)联合资助

[作者简介] 曹景鹏, 男, 1989年生, 硕士, 主要从事地震前兆形变研究。E-mail: cao\_jing\_peng@126.com

匀的应力分布,即局部的应力集中;地震孕育过程中,孕震区不断吸收外界的能量,表现为能量向孕震区的有序积累,即应力-应变的有序积累。能量的持续增加,若不被非震干扰的偶然涨落所掩盖,则会表现出形变异常由无序走向有序,且愈临近地震有序度愈高(吴翼麟等,1993)。当能量积累到达上限后,部分能量释放(发生地震),原有的能级结构被破坏,无序度增加,熵率值增加;同时新的能级结构形成,有序度增加,熵率值减小(Sibgatulin et al, 2007)。我国许多学者对临震前的减熵现象进行了大量研究(朱传镇等,1988;朱令人,1988;朱令人等,1990;王海涛等,1990;牛安福,1991)。基于前述理论,本文拟采用信息熵理论对近震源区形变资料进行熵率值分析,研究其形变熵变化特征,力求客观地认识临震前孕震系统的能量分布规律,识别其中的异常变化。

## 1 资料与方法

本研究中的形变观测资料是经由中国地震台网中心再联接四川省地震局 SQL 数据库获取的,且主要采用了地倾斜观测资料。因地倾斜测项被认为是监测地壳缓慢倾斜变化、倾斜固体潮和捕捉临震前兆等的重要手段之一(何成平等,2006),且震前在震源区附近布有一定数量的地倾斜连续观测点。

距芦山地震震中相对较近连续形变观测点有雅安台、姑咱台,临近的有康定台、攀枝花地龙井台和攀枝花南山台等,各测站参数及分布见图1、表1。文中选取各台站震前稳定连续的观测数据,其中,雅安、康定及攀枝花地龙井台数据时段为2003年1月1日至发震,姑咱台数据时段为2007年5月9日至发震。各台站的观测数据曲线见图2。

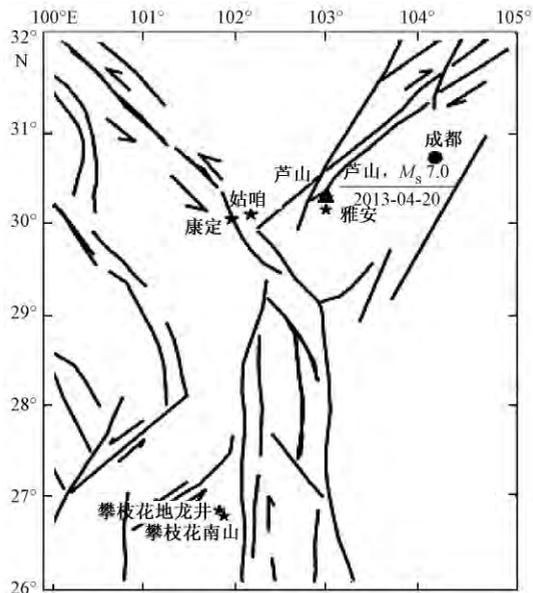


图1 台站分布图及芦山  $M_s 7.0$  地震震中

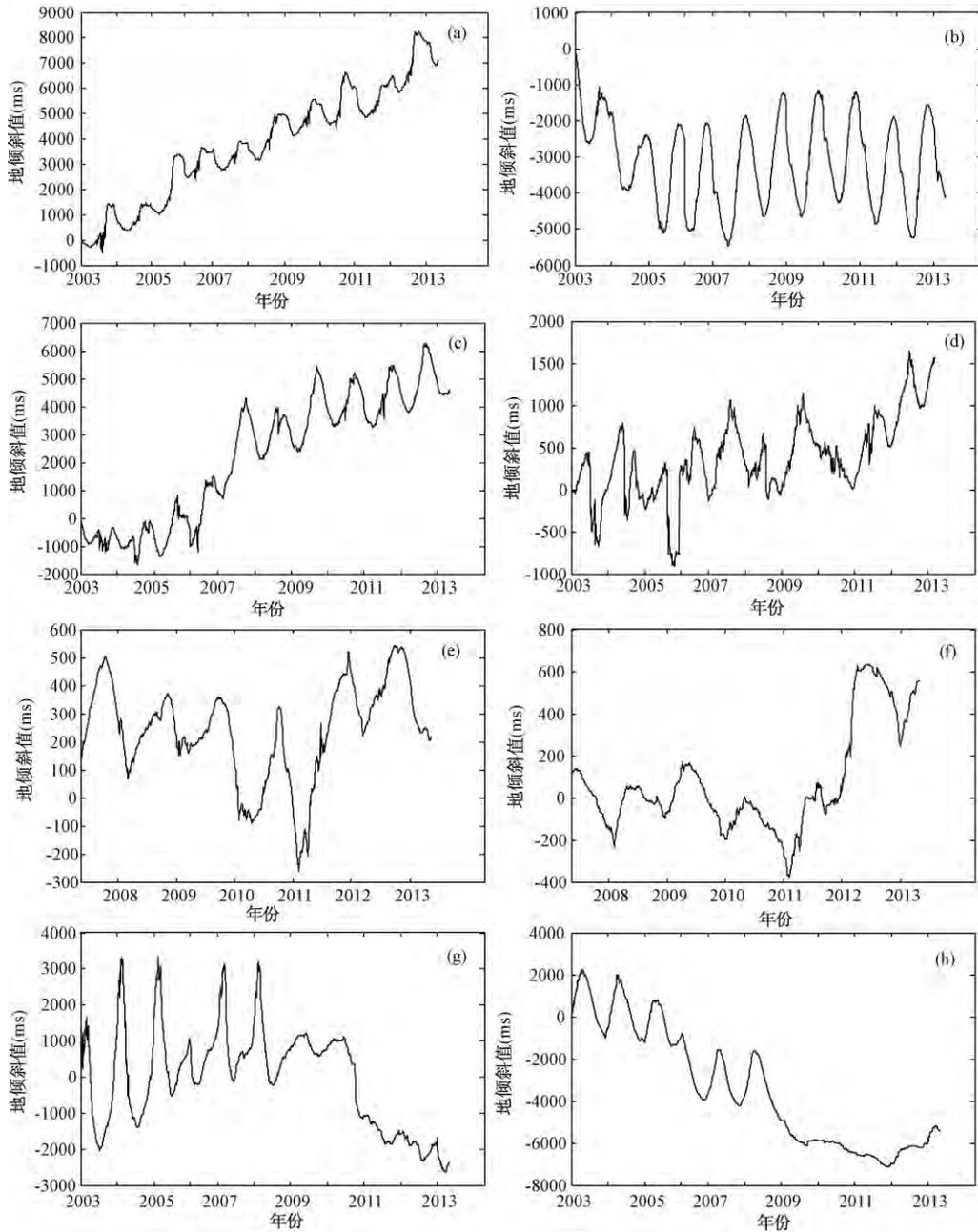


图 2 各台站地倾斜观测曲线

(a) 雅安金属摆(EW), (b) 雅安金属摆(NS), (c) 康定石英摆(EW), (d) 康定石英摆(NS), (e) 姑咱垂直摆(EW), (f) 姑咱垂直摆(NS), (g) 攀枝花地龙井金属摆(EW), (h) 攀枝花地龙井金属摆(NS)

根据信息熵理论, 定义归一化信息熵为

$$H = \frac{-1}{\log N} \cdot \sum_{i=1}^N p_i \log p_i \quad (1)$$

熵概率是描述信息熵的构成量,故地倾斜数据的概率分布是地倾斜形变信息熵的关键,同时还需对数据进行归一化处理,即满足  $\sum_{i=1}^N p_i = 1$ ,以消除仪器及环境等因素的影响,其中  $N$  为区间数。本文将观测值数据范围按步长  $\Delta T$  划分为  $N$  个区间,第  $i$  区间的数量量为  $N_i$ ,则

$$p_i = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^N N_i}$$

根据熵的分维性特征,熵率值与区间数  $N$  在一定区间内满足一定的线性关系,即

$$H = a \cdot \log 2^n + b \quad (2)$$

其中,  $N = 2^n$  为区间数,  $a$ 、 $b$  为待定常数。一般当  $n \in [2, 12]$  时,  $H$  与  $n$  具有较好的线性关系。此外,对连续观测资料按窗长  $\Delta T$  分区间计算(不足一个区间的向上取整),时间轴按年或月计算其熵率值的年变化(以下简称年尺度熵)或月变化(以下简称月尺度熵),进而得到依时序的熵率值分布。由于震前不同台站同类型仪器的观测资料难以统一,部分台站数据缺失非常严重,无法比较不同台站的同一时段的熵率值变化特征,故本文只研究不同台站依时序的熵率值变化特征。需说明的是,选取不同步长  $\Delta T$ ,得到的熵率值结果不同,此处熵率值大小仅具有相对意义。

表 1 芦山地震震中周围地倾斜观测台站的仪器参数

台站名	仪器类型	测项(分量)	经度(°)	纬度(°)
雅安	金属水平摆(JB)	(水平摆观测)EW、SN	103.033	30.167
姑咱	垂直摆倾斜仪(VS)	EW、SN	102.173	30.117
康定	石英摆倾斜仪(SQ70)	SN、EW	101.968	30.063
攀枝花地龙井	水平金属摆(JB)	EW、SN	101.000	29.000

## 2 芦山 $M_s 7.0$ 地震地质构造背景及活动性

芦山县地处龙门山断裂带的前山断裂南端,而龙门山断裂带位于南北地震带中部,呈 NE-SW 向展布,由 4 条主断裂构成,自西向东依次为:后山断裂(主要由青川-汶川-茂汶和耿达-陇东等断裂构成)、中央断裂(主要由盐井-五龙-映秀-北川和茶坝-林庵寺断裂构成)、前山断裂(主要由大川-双石-灌县-安县和江油-断裂构成)及山前隐伏断裂(主要由大邑断裂构成),它们分别以不同的角度向 WN 方向下倾,且在地下 20~25km 处汇聚成一条 NE 向伸展的缓倾角深部断裂带(邓起东等,1994;陈社发等,1994;赵小麟等,1994;陈国光等,2007)。该断裂带在地貌上为一 NE 向山脉,是地震高发带,地震活动性强;其东接四川盆地,西接青藏高原,属于松潘-甘孜造山带与扬子陆块之间的过度带,EW 向地貌差异大;于三叠纪印支造山运动开始构造变形,历经燕山期和喜马拉雅期,一直延续到晚白垩纪(杨晓平等,2008);表层主要由一系列大致平行的叠瓦状冲断带构成,构造形态为西厚东薄的逆冲楔,具有前展式逆冲推覆构造特征,其逆冲推覆构造的形成及变形历史复杂,在不同地质历史时期有着不同的构造活动特征。

前山断裂走向  $35^\circ\text{N} \sim 45^\circ\text{E}$ ,倾向 NW,倾角  $50^\circ \sim 70^\circ$ ,从天全一带,经灌县、江油、广元

延伸至陕西宁强、勉县一带,表现为脆性右旋逆断裂,控制成都平原西界(徐锡伟等,2003)。大川-双石断裂总体走向  $N43^\circ E$ ,倾向 NW,倾角  $45^\circ \sim 65^\circ$ ,活动地貌构造线性影像清晰。其 NE 侧为中生代陆相盆地,NW 侧为古生代地层组成的中高山区,切割古生界、三叠系煤层以及白垩系砂砾岩等,晚第四纪以来有较弱的活动。探槽揭露在和平村至青石坪一带距今约 1000a 以来至少发生过一次断错至地表的古地震事件,且震级大于 1970 年大邑 6.2 级地震(陈立春等,2013)。灌县-安县断裂走向 NE,倾向 NW,发育在三叠系和侏罗系地层内,活动构造地貌线性影像清晰,主要是由前陆盆地堆积的须家河组组成的推覆体,表现为脆性右旋逆断裂;断裂北段是中低山和丘陵的分界带,南段控制成都平原的西界,其活动延续至全新世中期(赵小麟等,1994;陈社发等,1994;邓起东等,1994);晚第四纪以来,逆冲滑动速率为  $0.2\text{mm/a}$ (马保起等,2005),地表调查结果显示,南段在晚第四纪具有向东侧盆地伸展的趋势(陈立春等,2013)。江油断裂即马角坝断裂,地貌影像较弱,下侏罗统砾岩不整合超覆沉积在变形的泥盆系-三叠系之上(贾东等,2003),断层两侧志留纪地层出现明显褶皱,断层岩固结,顶部被晚更新世-全新世地层覆盖,而地貌上无显示,且断层带未有新的活动迹象,由此推测的断层活动时间在第四纪之前(李传友等,2004)。2008 年汶川  $M_s 8.0$  地震发生在中央断裂上,震前汶川及雅安区域出现了 2 个熵率极小值区域(曹景鹏,2014);汶川地震后,大量地震能量的释放改变了周边断层上的应力分布,提升了彭县-灌县断裂及雅安断裂的应力积累(单斌等,2013),芦山地震发生在汶川地震后库仑应力增加的区域(王卫民等,2013)。

### 3 震前形变熵变化特征

各测站地倾斜仪器的采样率  $\geq 1$  次/分钟,记录分量为 SN 向和 EW 向,采集数据原始输出分钟值、整点值,仪器缺数标记值为 999999。对于仪器记录的缺数,本文忽略变化不稳定的数据点(由于停电或电力恢复),将背景性变化数据进行手工连接,得到相对较稳定的趋势性变化,然后将分钟值采样数据转换为小时值数据以减少需插值的数据量,再根据曲线趋势,对其进行样条插值处理来补插缺失较少的数据,对于缺失较严重的数据,直接弃用该段数据。然后对 EW 向和 NS 向观测值求矢量和得到各台站的模量值(图 3)。

对于震前观测资料,本文分别研究其震前地倾斜 EW、NS 向以及 EW 和 NS 向矢量模年尺度的熵率及矢量模月尺度熵率变化。年尺度取值为从发震时刻起向前取整年的观测数据来计算熵率值;同理,月尺度取值为从发震时刻起,向前取整月的数据来计算月熵率值。

#### 3.1 各台站地倾斜 EW、NS 及矢量模年尺度熵率

综合考虑熵的分维性特征及观测值的数据范围,选取适当步长  $\Delta T$ 。因为地倾斜观测资料中包含有年、月、半月、日、半日等周期以及线性和非线性成分及白噪声。除非线性成分外,其他量对各台站观测资料的影响近似一致,且非线性成分的影响较小,故此认为各年观测资料具有相等的权重。熵率结果如表 2、图 4 及图 5 所示。

#### 3.2 各台站震前 1 年观测资料的月尺度熵率分析

为了更加客观地研究临震前地倾斜熵率的变化,本文选取各台站震前 1 年的观测资料,选取适当的步长  $\Delta T = 30\text{ms}$ ,分析其月尺度熵率的变化。结果如图 5 所示。

雅安台处于龙门山断裂带 WS 段,位于芦山地震震中区域。地倾斜观测仪器为 JB 型金

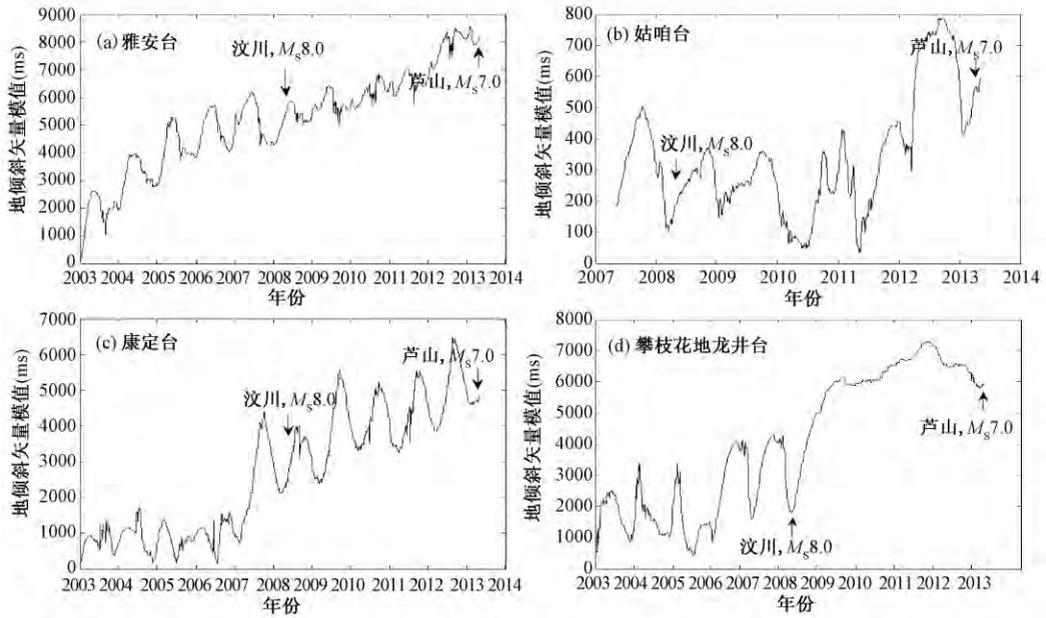


图3 各台站地倾斜矢量模值

表2 各台站地倾斜矢量模年尺度熵率结果 ( $\Delta T = 100\text{ms}$ )

年份 \ 台站	雅安	姑咱	康定	攀枝花地龙井
2003	0.3463	-	0.2868	0.3476
2004	0.3226	-	0.3052	0.3238
2005	0.3407	-	0.2855	0.3407
2006	0.3188	-	0.3119	0.3932
2007	0.3423	0.1629	0.4142	0.3715
2008	0.3115	0.1578	0.3429	0.4081
2009	0.2495	0.1315	0.3960	0.2548
2010	0.3070	0.1546	0.3448	0.1972
2011	0.2728	0.2026	0.3657	0.2161
2012	0.3246	0.1349	0.3872	0.2065
2013	0.2395	0.1341	0.1187	0.1624

属水平摆倾斜仪,观测精度 $0.001''$ ,其日变形态稳定,日漂率符合规范要求;洞室年温度变幅 $\leq 1.6^{\circ}\text{C}$ ,日温度变幅 $\leq 0.2^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 $> 95\%$ ;日照和洞内潮湿有干扰,但年变化趋势还是较为稳定,但在2008年汶川地震(以下简称汶川地震)后地倾斜矢量熵率值明显减小。曹景鹏(2014)研究汶川地震前地倾斜形变熵率值的空间分布时发现,震前在汶川和雅安两地形成2个低熵率极值区,即地震能量高度有序积累的区域。对雅安金属摆的年尺度熵分析结果表明,地倾斜矢量熵率值由2007年的0.3423Hat持续减小至2009年的0.2495Hat,2009年后处于动态回升,在2013年发震前迅速减至最低0.2395Hat。由表2可知,2008年为时序熵率值的转折点,2008~2013年间的整体熵率值明显小于2008年之前的熵率值,

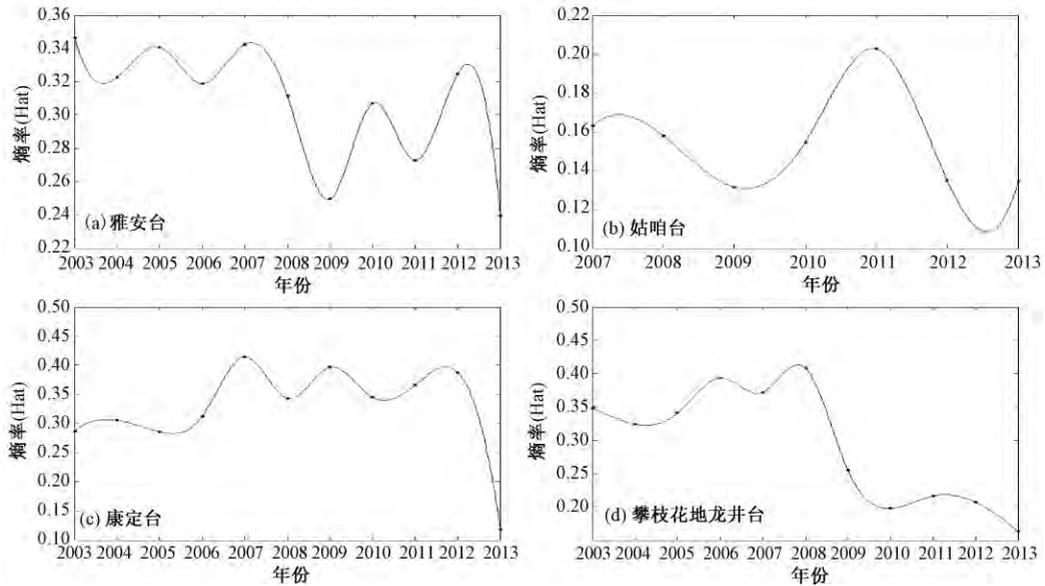


图4 各台站地倾斜矢量模年尺度熵率样条插值曲线

2008年后该地区的地倾斜形变有序度增加,震前1年减熵明显;且图5(a)、(b)表明,雅安台EW向和NS向年尺度熵率变化表现出较高的一致性。雅安台震前1年的月尺度熵率结果(图6)显示,震前第6个月熵率处于最小值0.4132Hat,后整体处于缓慢回升状态,在震前1个月急速减熵至0.4171Hat,这表明2012年10月雅安地区地震能量积累的有序度达到极大值,随后地震能量以其他形式进行缓慢的预释放,无序度整体缓慢增加,新的能级形成后,地震能量再一次加速积累,达到发震的临界值。

姑咱台处于NW向的鲜水河断裂带、NE向的龙门山断裂带和NS向安宁河断裂带复合部位靠北的地段,距离芦山地震震中90km。图3(b)为姑咱台垂直摆2007年5月9日~2013年5月12日的地倾斜模值图,其年变趋势在2010年之前呈缓慢减少状态,2010年及之后年变趋势呈加速回升态势;其年尺度熵结果显示该地区继2008年后继续进入减熵状态,2010年逐渐回升,在2011年年尺度熵率值达到异常最大值0.2026Hat,后持续减熵至发震。该台站在2011年表现出高熵异常至震前减熵的特征。月尺度熵率结果显示,除震前第7个月出现异常低熵率值外,整体熵率维持较平稳变化。

康定台处于鲜水河断裂带南东段,在龙门山、鲜水河、安宁河等3大主干断裂复合部位附近。图3(c)显示,康定台石英摆地倾斜矢量模在2006年及之前以较小幅度平稳变化,2007年后年变幅度骤增,且年变化整体呈稳定增加态势。其年尺度熵结果表明,该台地倾斜在2003~2006年间以较小的波动维持在低熵值0.295Hat上下,2007年年尺度熵率值大增,且在2012年之前熵率值维持较高水平,随后2013年震前熵率值急剧下降至0.1187Hat。该台站2007年为时序的转折点,2007年之前熵率值维持稳定低熵,2007年及之后,维持稳定的高熵,震前2013年骤降至最低。震前1年的月尺度熵率结果表明,该台站熵率周期性变化明显,震前1个月出现异常减熵。

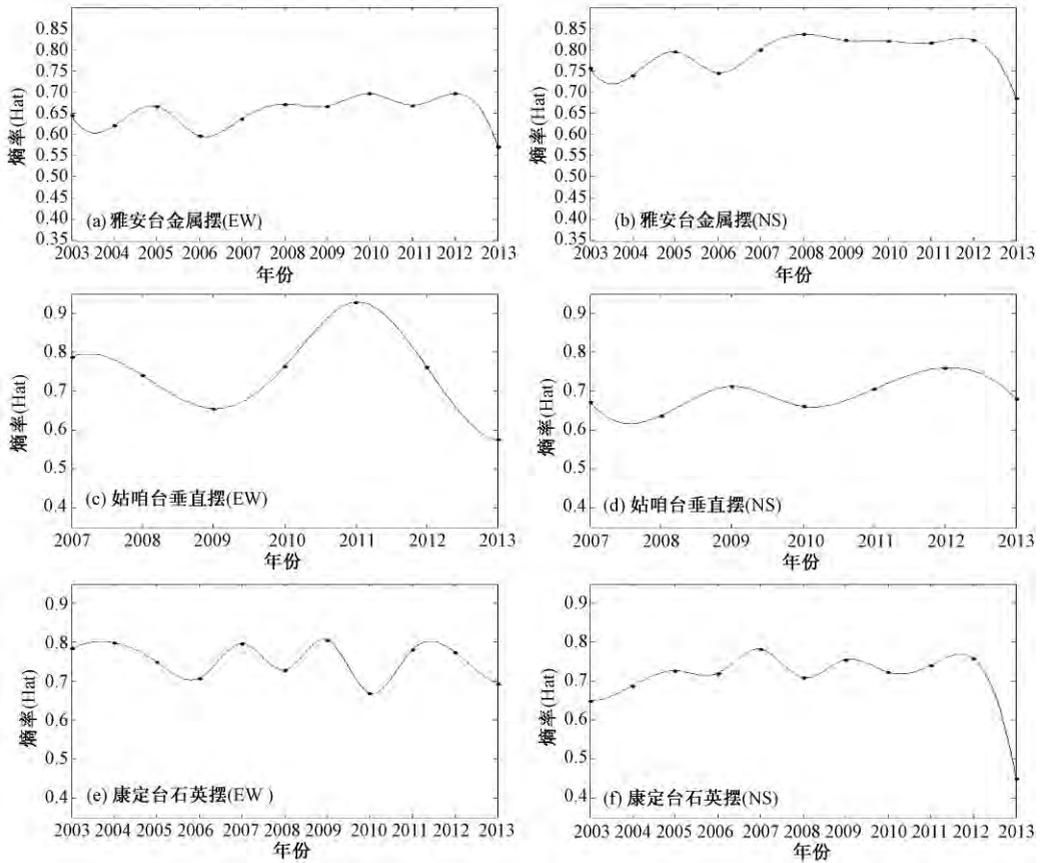


图5 各台站地倾斜观测EW向和NS向年尺度熵率样条插值

攀枝花地龙井台位于三岔口南部安宁河主干断裂西侧,图3(d)为该台金属摆仪从2003年至震前的地倾斜矢量模值图。该台在2008年汶川地震后年变化幅度骤减,分析比较2009年之后的数据发现,震前5年该区域表现低熵异常,且芦山地震前该台处于持续减熵状态(图4(d))。震前1年的月尺度熵率结果显示,攀枝花地龙井台整体表现为明显的增熵状态,无序度持续增加。

#### 4 讨论与结论

年尺度熵计算结果(表2)表明,雅安、姑咱和康定等近震源区台站临震前均表现出明显的减熵现象,外围区的攀枝花地龙井台金属摆仪在震前2年也处于持续减熵状态。震前1年观测数据的月尺度熵率结果表明,雅安台震前6个月处于低熵率阶段,且震前1个月和康定台一样出现大幅的减熵。这较好体现了临近地震发生前近震源区能量从无序向有序的进化过程表现为震前应力-应变的有序积累过程。

此外,图4中雅安台和姑咱台在2008年后1年内继续减熵,其中雅安台、攀枝花地龙井台在2008年后的熵变趋势明显异于2008年之前,且整体熵率值也低于2008年之前,即

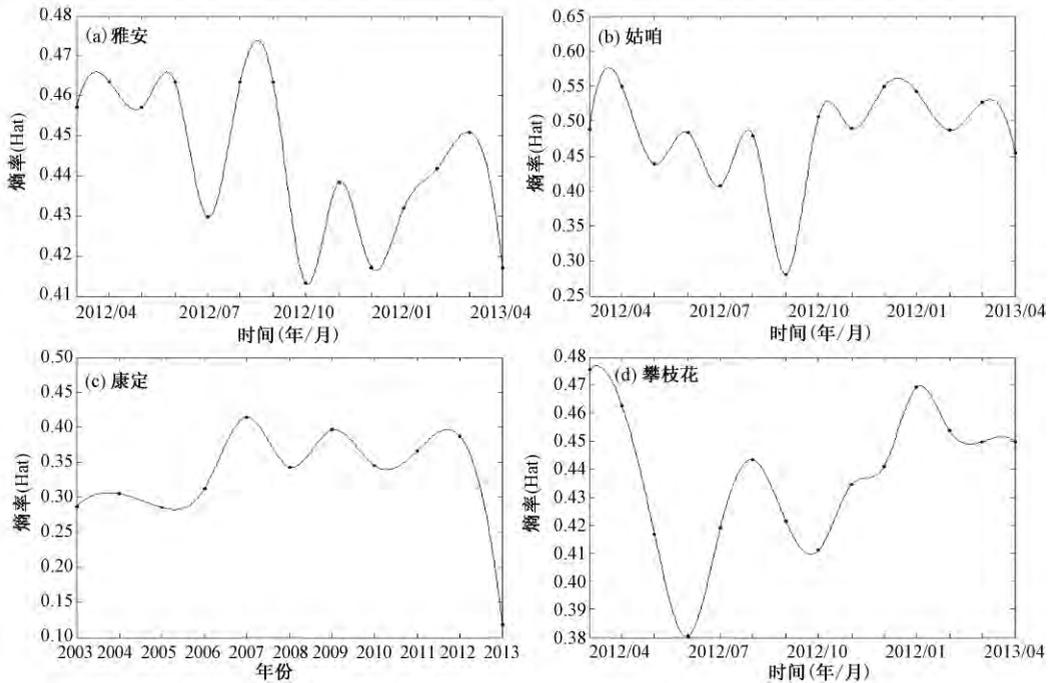


图 6 各台站震前 1 年月尺度熵率样条插值

2008 年后该区一直处于能量的有序集中状态,这可能是 2008 年汶川地震的发生改变了该区域应力应变的格局,继而触发了芦山地震。汶川  $M_s8.0$  地震发生在龙门山断裂带中、北段,而雅安、姑咱台分别位于龙门山断裂带的南段及南段西侧,该地震发生时破裂沿 NE 向扩展,从而破裂 SW 端及周围区域处于应力的有序集中状态。应力-应变的不断积累最终会破坏该区域的原有能级结构而形成新的能级结构,表现出新的熵变态势。2008 年汶川  $M_s8.0$  地震前,汶川和雅安区域为 2 个熵率极小值区,即应力-应变处于高度有序的积累阶段;汶川地震改变了周边应力场的分布,进一步促进了雅安区域能量的积累,使得汶川地震后至 2012 年整体年尺度熵率值表现为低熵,至 2013 年有序度迅速增加,继而引发芦山震。汶川地震的发生在某种程度上增加了芦山断裂的应力、应变积累,对芦山地震具有一定的触发作用。

EW 向和 NS 向观测资料的时序年尺度熵结果表明(图 5),处于震中区域的雅安台 EW 向和 NS 向具有很好的相关一致性,而处于震中附近及外围的台站 EW 向和 NS 向时序熵率值则未表现出较大的相关性。孕震区是地震破裂能量的储存区,不断从周围“吸收”能量,导致震中各个方向应具有一致的熵变趋势,故震中区的雅安台 EW 向和 NS 向年尺度熵表现出近乎一致的变化趋势;而姑咱台、康定台距离震中约 100km,EW 向年尺度熵变化与 NS 向无明显的一致变化。

综上所述,芦山  $M_s7.0$  地震前各台站均表现出震前减熵现象,体现了震前应力-应变高度有序积累的过程;汶川地震的发生在一定程度上促进了芦山地区的应力-应变积累,对芦山地震的发生具有一定的触发作用;位于震中区的雅安台观测到的地倾斜 EW 向和 NS 向

分量具有高度一致的地倾斜形变熵变化。

## 参考文献

- 曹景鹏,2014,汶川  $M_s$ 8.0 地震前近震源区形变熵率变化研究, 硕士学位论文,北京:中国地震局地震预测研究所。
- 陈国光、计凤桔、周荣军等,2007,龙门山断裂带晚第四纪活动性分段的初步研究,地震地质, **29**(3), 657~671。
- 陈立春、冉勇康、王虎等,2013,芦山地震与龙门山断裂带南段活动性,科学通报, **58**(20), 1~7。
- 陈社发、邓启东、赵小麟,1994,龙门山中断推覆构造带及相关构造的演化历史和变形机制(一),地震地质, **16**(4), 407~409。
- 邓起东、陈社发、赵小麟,1994,龙门山及其邻区的构造和地震活动及动力学,地震地质, **16**(4), 389~402。
- 何成平、欧阳祖熙,2006,倾斜形变观测技术发展综述,中国震局地壳应力所编,地壳构造与地壳应力文集(18), 149~156,北京:地震出版社。
- 贾东、陈竹新、贾承造等,2003,龙门山前陆褶皱冲断带构造解析与川西前陆盆地发育,高校地质学报, **9**(3), 402~408。
- 江在森、方颖、武艳强等,2009,汶川 8.0 级地震前区域地壳运动与变形动态过程,地球物理学报, **52**(12), 505~512。
- 李传友、宋方敏、冉勇康,2004,龙门山断裂带北段晚第四纪活动性讨论,地震地质, **26**(2), 245~255。
- 马保起、苏刚、侯治华等,2005,利用岷江阶地的变形估算龙门山断裂带中段晚第四纪滑动速率, **27**(2), 234~240。
- 牛安福,1991,阳高 6.1 级地震前倾斜固潮振幅因子熵的变化,地壳形变与地震, **22**(2), 1~6。
- 单斌、熊熊、郑勇等,2013,2013 年芦山地震导致的周边断层应力变化与 2008 年汶川地震的关系,中国科学, **43**(6), 1002~1009。
- 王海涛、杨马陵,1990,地震前兆系统信息熵的初步研究,中国地震, **6**(2), 10~13。
- 王卫民、郝金来、姚振兴,2013,2013 年 4 月 20 日四川芦山地震震源破裂过程反演初步结果,地球物理学报, **56**(4), 1412~1417。
- 吴翼麟、牛安福、李爱萍,1993,孕震区形变异常临近地震时的有序度研究,地壳形变与地震, (3), 7~12。
- 徐锡伟、闻学泽、郑荣章等,2003,川滇地区活动块体最新构造变动样式及其动力来源,中国科学(D 辑), **33**(增刊), 151~162。
- 杨晓平、冯希杰、戈天勇等, 2008, 龙门山断裂带北段第四纪活动的地质地貌证据,地震地质, **30**(3), 644~654。
- 曾祥方、罗艳、韩立波等,2013,2013 年 4 月 20 日芦山  $M_s$ 7.0 地震:一个高角度逆冲地震,地球物理学报, **56**(4), 1418~1424。
- 赵小麟、邓起东、陈社发,1994,龙门山逆断裂带中段的构造地貌学研究,地震地质, **16**(4), 422~428。
- 朱传镇、王林瑛,1988,熵的原理与地震活动研究,地震研究, **11**(6), 527~538。
- 朱令人,1988,大震前地震信息熵异常——以乌恰地震为例,地震地质, **10**(2), 29~37。
- 朱令人、王海涛、白超英等,1990,澜沧-耿马 7.6 级地震前中小地震活动信息熵和分维的研究,内陆地震, **4**(4), 310~317。
- Sibgatulin V G, Peretokin S A, Khlebopros R G, 2007, Fundamental peculiarities of the entropy model of energy processes in seismic areas, Earth Science Frontiers, **14**(6), 222~226。

## Research on anomalous crustal deformation entropy in near-field before the Lushan $M_s7.0$ earthquake

*Cao Jingpeng*<sup>1,2)</sup> *Niu Anfu*<sup>2)</sup> *Li Yuan*<sup>1,2)</sup> *Yan Wei*<sup>2)</sup> *Zhang Lingkong*<sup>2)</sup>

1) Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China

2) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

**Abstract** The Lushan  $M_s7.0$  earthquake on May 5, 2013 in Sichuan Province is another strong earthquake occurring in the Longmenshan fault zone following the Wenchuan  $M_s8.0$  earthquake in 2008. The similarity between the both is that there is no noteworthy anomalous change. In order to study the deformation pattern prior to the earthquake, this paper processes the continuous observation data in the near-source area to calculate annual-entropy and analyze its distribution characteristics in time series based on the entropy theory. The results showed that the earth tilt in near-source area decreases obviously before the Lushan earthquake, and the time sequential annual-entropy showed that the Wenchuan  $M_s8.0$  earthquake had a trigger action on the Lushan  $M_s7.0$  earthquake, and the entropy variation trend of EW direction is in high accordance with that of NS direction.

**Key words:** Lushan earthquake Longmenshan fault zone Deformation entropy Tilt