

2013 年芦山 7.0 级地震一年尺度预测的回顾性研究

——基于三性法、静中动和垂震底继模式^①

郭安宁¹, 李 鑫², 赵乘程¹, 张炜超¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;
2. 中国机械进出口集团有限公司, 北京 100037)

摘 要:对 2013 年中期地震预测的研究结果(一年尺度)进行了阐述与分析。该预测综合了三性法判据、静中动判据和垂震底继模式,给出了 2013 年左右在鲜水河断裂带上发生 7 级以上大震的可能性很大的结论。重点预测了两个具体发生的区域,预测的区域与 2013 年 4 月 20 日芦山 7.0 级地震的震源区相差 70~80 km 左右。预测结果震级与时间吻合,但地点上发生了偏离。文中重点回顾了基于三性法、静中动、垂震底继方法的预测过程。

关键词: 芦山 7.0 级地震; 三性法判据; 静中动判据; 垂震底继模式; 中期预测

中图分类号: P315.07

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)02-0257-09

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.02.0257

Retrospective Study on One-year Prediction for 2013 Lushan $M_s7.0$ Earthquake

GUO An-ning¹, LI Xin², ZHAO Cheng-cheng¹, ZHANG Wei-chao¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou, Gansu 730000, China;
2. China Machinery Import and Export Corporation, Beijing 100037, China)

Abstract: The medium-term prediction (one-year scale) is focused on and mainly considered for the master's thesis written by the first author and his student in 2012. Before the earthquake, it predicted that an $M_s7.0$ earthquake would occur in the Xianshuihe seismic belt by means of a triplet method and the regularity of "an earthquake on the bottom follow-up earthquake on the perpendicular fault," and the prediction location was approximately 70~80 km from the accurate circle. In the medium-term (one-year) predictions that aimed at predicting the Yaan $M_s7.0$ earthquake, the predictions should be the closet one. The triplet method, the "activity in quiescence" method, and the regularity of "an earthquake on the bottom follow-up earthquake on the perpendicular fault" are retrospectively researched in this paper, and they are shown to have good prediction efficiency.

The triplet method is an analysis method based on the time frequency of the $M > 7.0$ earthquakes. A specific approach is used for studying the time series of great earthquakes occurring in the past in a certain region by using a time series composed of periodicity, multiple periodicity, and golden section. If they fit well, we can use it for predicting the time of a future earthquake by the time series.

"Activity in quiescence" was a method for analyzing the seismic activity on the basis of con-

^① 收稿日期: 2013-06-08; 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2013029

基金项目: 国家科技部公益专项(8-44); 科技部公益专项(201208001); "5·12"汶川特大地震纪念馆研究项目资助

作者简介: 郭安宁, 男, 研究员, 硕士生导师, 从事地震预测, 构造物理与灾害预测研究。

sidering the earthquakes in a low-tide period as a precursory index for predicting the earthquakes in a high-tide period. It calls approximately one decade when no $M > 7.0$ earthquakes occurred in the Mainland China intermittent period, then subtracts two years from both ends of the intermittent period to eliminate the influence of the start and the end of the earthquake climax; hence, the rest of the period is called the quiet period. In the places where $M \geq 6.0$ earthquakes occurred in the quiet period, the $M \geq 7.0$ earthquakes may occur when the climax of the next earthquakes is reached.

The regularity of "an earthquake on the bottom follow-up earthquake on a perpendicular fault" is based on the theory that seismogenic faults interact with each other and then affect another seismogenic fault, and thus, an earthquake is caused. It states that the Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake in 2008 exhibited a shock-adding effect on the intersecting Xianshuihe fault.

Key words: Lushan $M_s 7.0$ earthquake; Criterion of triplet method; Criterion of activity in quiescence; Regularity of "an earthquake on the bottom follow-up earthquake on a perpendicular fault"; Middle-term prediction.

0 引言

地震预报目前是一个世界难题,多种思路探索是非常有必要的。本文是对从青海延伸到云南的广义鲜水河断裂带进行的预测分析的回顾。该预测是基于三性法判据、静中动判据、垂震底继模式给出的,研究结果(一年尺度)来源是2013年震前一年硕士论文中所做的预测结果。该论文综合诸方法提出了在四川省鲜水河断裂带上2013年左右发生7级以上大震的可能性很大。在鲜水河断裂带上,重点认定发生的区域,与芦山地震震中相差70~80 km左右。这个预测应是芦山7.0级地震在中期一年预测的尺度之中,在震前最为接近三要素的预测。

这是对这一理论与方法的又一次检验。文中在对中期预测重点回顾分析的基础上,对基于预测的方法进行了深入研究,通过对预测结果验证性研究以及再深化,以期研究结果在今后的预测实践中进一步应用。

1 三个预测方法的介绍

中期回顾性预测是基于《静中动与三性法指标预测大地震的方法系统研究及成因探讨》硕士论文中所述研究展开的^[1]。

在论文中,曾经用三种方法对四川省的地震重点危险区做了一年尺度的危险性判定,其危险性判定的方法一是三性法判据,二是静中动判据,三是垂震底继判据。

1.1 强震发生时间的三性法预测判据

三性法是基于7级以上强震的时间频度的一种分析方法,基于这一分析方法预测强地震发生的时

间。其方法步骤为,在一个区域内,选定一个有代表的强震发生间隔作为原始起算点和输入值,从而计算出发震时间的最大可能时间点的方法^[2]。

具体方法是在一个区域上,用周期性、倍周期性和黄金分割性组成的时间序列去拟合所研究地区过去大地震发生的时间序列,如拟合的较好就按这三性的时间序列向未来外推,以预报未来大震可能发生的时间,所得结果是中期尺度预测结果(即一年尺度或前后误差一年左右)。它是基于外因调制的地震预测分析方法。

(1) 周期性表达式为

$$T = t_1 - t_2$$

T 为大震发生周期; t_1 为后发生大震的年份; t_2 为之前发生大震的年份。

三性法所描述的地震周期 T 并不是指地震从开始孕育到地震发生的时间长短,而是指在外因影响下大震发生的时间间隔。 T 的形成原因可推测为外因是具有一定周期性的,在震源体上的周期性作用导致大震的发生具有周期性。具体的外因包括地球自转速率变化中的周期成分、引潮力变化中的周期成分、太阳活动的周期成分以及大气活动中的周期成分等。由于各地震带或地震区中组成地壳的诸块体互相耦合不同、受力不同以及物性有差异,所以各地区大震对不同外因触发和调制的敏感程度不同,所以一般来说相应周期 T 也不同^[3]。

如果作用于震源体地区的外因是单一外因,那么大震发生的周期与外因作用的周期相同,但是现实中作用于震源体上的外因并非单一外因,这种情况下三性法中所描述的大震发生周期 T 是由各种

外因合成后形成新的周期决定的,新的周期就复杂了。

(2) 倍周期性表达式为

$$t_1 = t_2 + nT$$

式中 t_1 为要预测的大震发生年份; T 为大震发生周期; t_2 为此周期最后一个大震的发生年份; n 为正整数。

外因触发大震并不是在每个周期都能够触发,外因跨过多个周期触发所研究地域内的大震,则两次大震之间的时间间隔为 nT 。这就是所谓的倍周期性,也叫整倍性。在每个周期对应的时间点上可能发生地震,也可能不发生地震。大震连续发生在周期点上,则认为符合周期性,如果间隔 nT ,则符合倍周期性。倍周期性是建立在周期性基础之上,是周期性的扩展。至于有利于触发大震的外因的位相问题,在一个地域内可能是相对稳定的^[3]。

(3) 黄金分割性表达式为

$$t^1 = t_1 + 0.618T \quad t^2 = t_1 + 0.382T$$

式中的 t^1 、 t^2 为大震发生年份, t^1 为大震周期中起算开始的第一个大震的发生年份。这个表达式的实质就是在周期性中用黄金分割法分割后形成新的发震年份的时间点。

黄金分割性是对应于两个外因触发大震的情况。假定大震是受两个外因触发的。如果两个外因的周期之比为 2:3,则两个外因的合成对一个地区地震能量的触发释放就会形成周期性、周期的整倍性和每个周期内的黄金分割性。在每个周期内存在两个黄金分割地点即: $0.618T$ 和 $0.382T$ 。如果大震发生的时间落在周期内的黄金分割点上时,则符合三性中的黄金分割性。同样在每个周期内对应的黄金分割点上,可能发生地震,也可能不发生地震^[3]。

1.2 静中动判据

静中动是地震活动性的分析方法,是基于低潮期发生地震来预测高潮期是否会发生强地震的思路与方法。静中动判据于 1992 年提出,其预测目标是 7 级以上大地震位置^[2,4-5]。其原理基于力学成因所得的强震发生地点的分析方法,但有时间概念,其尺度也是基于一年或前后一到二年的尺度预测。

具体操作方法是:对中国大陆内部不发生 7 级地震近 10 年左右称为间歇期,把间歇期两头各扣去 2 年,以消除大震高潮开始和结束时对间歇期的影响,于是中间所剩下的时段称为平静期。在平静期中发生 6 级及以上地震的地方,其附近在将来下一

次大震高潮来临时可能发生 7 级或大于 7 级的地震。

在中国大陆边缘大震特别活跃的带,上述平静期中的地震和以后发生的大震其震级相应要高一些,即静中动地震会大于 6 级,以静中动预期预测的地震会大于 7 级。具体情况为:“静中动判据”在用于中国大陆内部时,“静中动地震”为 6 级左右,在喜马拉雅地震带和环太平洋地震带以及新疆西北边缘地震带,具体是在阿尔泰—戈壁阿尔泰地震带,南北天山地震带,则“静中动地震”可达 7 级左右,它们对应未来比 7 级更大的地震;对中国大陆南部从活动构造分布和几千年历史地震活动上看,凡无 7 级大震发生可能的地区则不宜用。我们称平静期中的 6 级地震(包括 6 级和 7 级左右的地震)为“静中动地震”。

另外,对未来大震发生时间、地点及静中动判据适用范围有以下约定:

(1) 对静中动地震与附近未来大震的时间间隔有两种判定指标。从大量统计数据上看,一般由静中动地震的年份算起,在其后 30~45 年这一时间段内发生更大地震的概率较高。但是短于 30 年和长于 45 年也有发生的概率。另一个时间指标是,静中动地震发生后若有新的大震高潮来临,就要考虑静中动地震附近可能发生更大地震^[6]。

(2) 对于静中动地震距未来大震的距离,根据统计数据显示未来大震一般发生在静中动地震周围 50~100 km 的范围内,有时可能还会更近。

(3) 静中动判据预测大震在我国的适用范围,除了东北地区(辽南除外)、华中和华南地区(东南沿海除外)外均可使用。这是因为以现有的历史地震记录来看以上地区均未发生过 $M_s \geq 7$ 地震。不适用地区的原因是未发生强震,没有统计样本,不是有样本而不符合。

1.3 垂震底继模式

垂震底继方法是基于发震断层相互作用,从而影响对方发震断层发震的分析方法。在国内,首先提出大地震发生后对周边发震构造的减震与加震的研究观点见文献^[7]。对于相交的彼此断层来说,一个相当于垂线,可称垂断层,另一个相当于底线,可称底断层。如果底断层发生了大震,则垂断层上就减震了,简称“底震垂减”;如果垂断层上发生了大震,则底断层上可能还会相继发生大震,可称“垂震底继”。

文献^[7-10]又深入研究了减震距离位移衰减距

离的关系式,得到以下公式^[8]:

$$\lg R = 0.49M_s - 1.97 \quad (1)$$

式中 R 为减震距离; M_s 为震级。以此式得以下数据:

表 1 不同震级地震与加与减震距离的关系
Table 1 Relationship between earthquakes with different magnitudes and distances of shock adding and absorbing

M	8.5	8.0	7.5	7.0
R/km	162	93	54	31

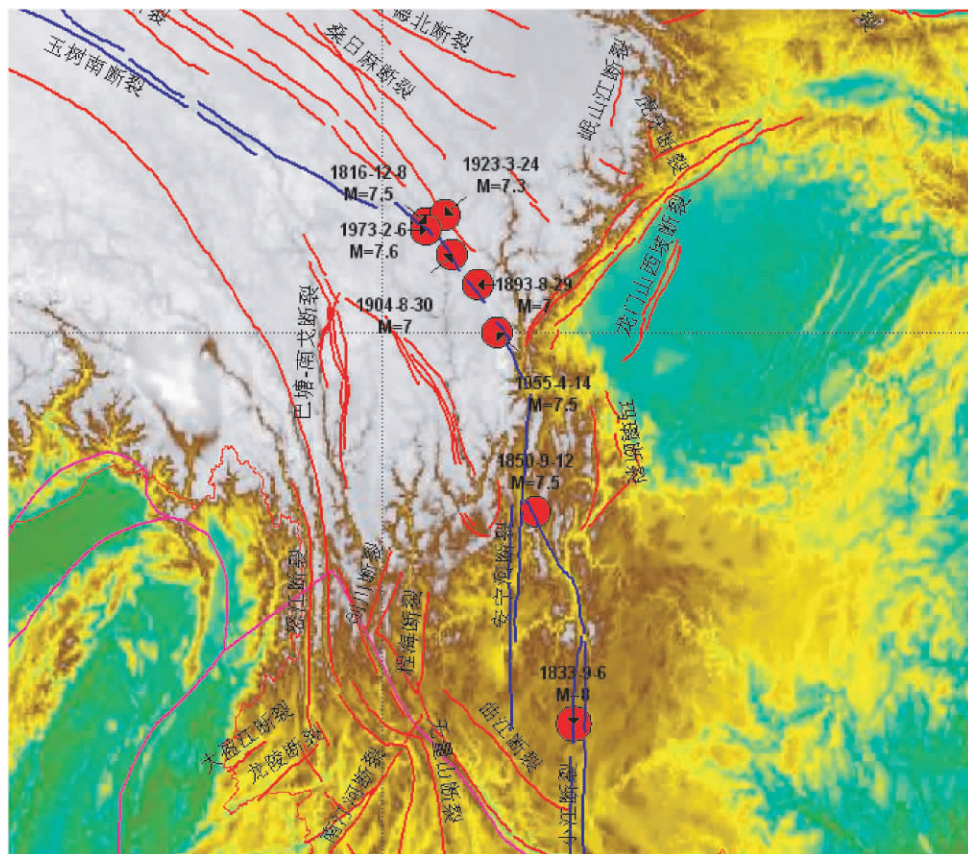


图 1 鲜水河断裂带与大震分布示意图

Fig. 1 Diagram of Xianshuihe fault and distribution of strong shocks.

2.2 鲜水河断裂带历史地震统计与选取

历史上该地区有记录的地震多达 20 余次;从全国范围来讲该地区属于大震频发区域。1800 年来该断裂带上发生了 8 次 $M_s \geq 7$ 的地震,平均发震间隔不到 20 年。这些地震分别为:1816 年 12 月 8 日炉霍 7.5 级地震、1833 年 9 月 6 日云南嵩明杨林 8.0 级地震、1850 年 9 月 12 日西昌—普格 7.5 级地震、1893 年 8 月 29 日道孚 7.0 级地震、1904 年 8 月 30 日道孚 7.0 级地震、1923 年 3 月 24 日炉霍—道孚 7.3 级地震、1955 年 4 月 14 日康定 7.5 级地震、1973 年 2 月 6 日炉霍 7.6 级地震。其中有 6 次大

2 三个方法对鲜水河断裂带地区的预测过程

2.1 鲜水河断裂带地区

广义的鲜水河断裂在地表延伸近千公里,从青海玉树的当江地区向东南经四川的甘孜—炉霍—西昌延伸到云南的昆明地区,如图 1 所示。图中蓝色线条为整个鲜水河断裂带。由 NW 向 SN 断裂带可以划分为四段:玉树南断裂、鲜水河断裂、则木河—安宁河断裂及小江断裂^[9-11]。

震分布在狭义的鲜水河断裂上。对于整个鲜水河断裂带上的地震活动而言,其发震的构造背景是近似的。所以我们认为发生在该断裂带上的地震可以用三性法和静中动判据来进行研究。

2.3 三性法分析

该地区的地震序列可表示为 $S = \{1816, 1833, 1850, 1893, 1904, 1923, 1955, 1973\}$ 。将该序列带入计算程序,最终结果显示鲜水河断裂带上大震的三性分布周期为 30 年,三性起算时间为 1803 年。30 年周期的长段黄金分割为 19 年,短段黄金分割为 11 年,这两个黄金分割段分别对应着周期不同的

两种外因。其中 19 年周期可能对应月球引潮力中的 18.6 年周期,11 年可能对应太阳活动中的 11 年周期。

用以上的数据做出该地区地震序列的三性分布拟合图,如图 2 所示。从图中可以看出 1893—1923 年间的大震符合较好。其中 1816 年、1850 年和 1955 年偏差为 2 年, $2 < T/10$ (T 为三性分布的周期,在这里为 30 年)符合三性分布要求的偏差范围。

1973 年与理论三性分布偏差为 1 年,也在三性分布的误差范围内。在对该地区进行三性拟合时选取的震例时间尺度为 200 年左右的较长尺度,从拟合结果来看该地区大震实际分布序列与三性理论分布序列拟合的较为一致。因此可以认为该地区的大震发生时间存在着周期为 30 年的三性分布。具体分布关系见表 2。

表 2 鲜水河断裂带地震以 35 年为周期的三性分布表

Table 2 Triplet distribution of earthquakes on Xianshuihe fault in a 35-years cycle

时间	地点	震级/M	间隔/年	三性分布对应位置	与理论分布偏差/年
1816-12-08	炉霍	7.5		短黄金分割	2
1833-09-06	嵩明杨林	8	17	周期点 0	
1850-09-12	西昌—普格	7.5	17	长黄金分割 2	
1893-08-29	道孚	7	43	周期点	0
1904-08-30	道孚	7	11	短黄金分割	0
1923-03-24	炉霍—道孚	7.3	19	周期点	0
1955-04-14	康定	7.5	32	周期点	2
1973-02-06	炉霍	7.6	20	长黄金分割	1

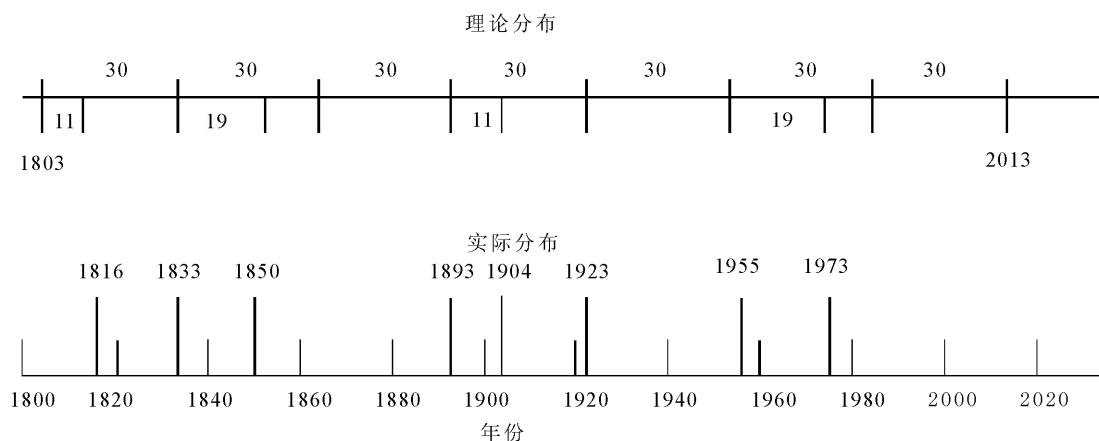


图 2 鲜水河断裂带大震三性分布拟合关系图

Fig. 2 Fitting diagram of triplet distribution of strong shocks in Xianshuihe fault.

2.4 静中动判据分析

按照静中动判据的规定对该地区的地震进行判定。鲜水河断裂带地区根据现有的历史地震资料只能对 1973 年 2 月 6 日的炉霍 7.6 级地震运用静中动判据进行回顾性的预测。以下为判定的依据:

鲜水河断裂带附近在 1940—1945 年这一平静期中发生过两次 $6 \leq M_s \leq 7$ 的地震。它们分别是 1941 年 6 月 12 日四川泸定 6 级地震,1941 年 10 月 8 日四川黑水 6 级地震。其中 1941 泸定地震与 1973 年炉霍地震震中位置相距约 210 km,1941 年黑水地震与 1973 年炉霍地震震中位置相距约 180 km,这个距离相对较远,但我们仍将它们看做静中动地震。其相距较远的原因可能是黑水地震所处的龙门山断裂带和

泸定地震所处的岷江断裂带近于垂直的相交,而龙门山断裂带与鲜水河断裂带也近于垂直相交,因此在其中任意一个断裂带上发生地震所造成的区域应力变化,都能通过断裂带之间的作用影响很远。从这点来看 1940—1945 年间的两次静中动地震可能对较远距离上的震源产生了影响。

1967 年鲜水河断裂带地区多次发生 6 级以上地震,特别是 1967 年 8 月 30 日炉霍西北方向发生了 6.8 级地震,这说明该地区可能将要进入了大震活动频繁期。

以 1941 年四川黑水和泸定地震为起算时间,加上 32 年得到 1973 年炉霍 7.6 级地震,符合静中动判据要求的 30~45 年期限。且地震震级为 7.6 级,符

合静中动判据要求的7级以上地震^[1]。

2.5 根据三法及静中动对鲜水河地区地震预测的回顾

(1) 未来发震时间的预测

根据三性法的分析,鲜水河断裂带上的大震发生时间是符合30为周期的三性分布的。该地区内发生的最后一次大震是1973年的炉霍7.6级地震,其对应的理论分布时间点为1972年。由于从1972—2002年这一个周期内该地区没有发生地震,而这一时段为一个整周期,即30截止到2002年,按照三性法的规则,因此以2002年为起算点,则未来可能发生地震的时间的理论时间点为 $2002+11=2013$ (短黄金分割段)。如果在该时间点左右没有发生地震,就要继续外推预测到 $2002+19=2021$ 。需要指出的

是,2008年在龙门山断裂带上发生了8.0级的汶川地震。上节对该地区静中动判据问题的分析中已指出,龙门山断裂带和鲜水河断裂带是近于垂直相交的,两断裂带的走向和旋转符合“垂震底继”的形式^[12]。在这种情况下汶川地震的发生对鲜水河断裂带起到加震的作用,在可能性的误差段上靠前,因而在前述文献^[1]中认为在鲜水河断裂带上2013年左右发生7级以上大震的可能性很大。

(2) 未来发震地点的预测

该地区在1978—1986年平静期内共发生了2次 $6 \leq M_s \leq 7$ 的地震,他们分别是1981年1月24日四川道孚6.9级地震和1982年6月16日四川甘孜西北6级地震(图3)。

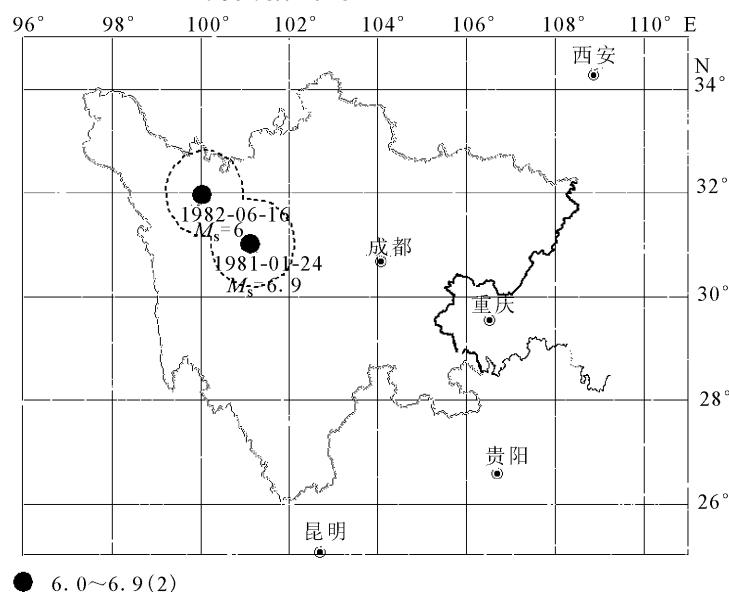


图3 静中动判据以未来大震发生位置的预测

Fig. 3 Prediction of locations of future strong shocks by criterion of activity in quiescence.

将以上两次地震看作该地区内的静中动地震,利用静中动判据的准则,以这些地震的震中位置为圆心,文献^[1]以100 km为半径分别作圆。则未来可能发生的大震震中位置就落在这些圆形范围之内,如图3中虚线所划范围所示。另外文献^[1]又做出这样的结论,由于该地区构造活动相对比较复杂,断裂带之间可能存在着较强的相互作用。因此未来大震发生的位置可能会出现在虚线范围以外的地区,但是偏离不会太远。

用三性法与静中动判据在中期尺度上预测强震,对三性法的成因机制研究初步表明,它是属于两个外因的调制来触发已成熟地震能量的释放,统计现象能证实这点的存在。通过对已逝强地震的分

析,用三性法与静中动预测强震发生的时间点,后效性的验证其准确性占了很大的统计比例。并在此之前,对国内几个大地震的判断中,都有着提前预测^[11-14]。

若能结合别的前兆指标,共同综合预测地震,效能还会提高,这是今后进一步努力的方向。以三性法与静中动的方法判断,有些还未发生地震的地区和地段,如内蒙五原、青海门源、云南禄劝、山东菏泽、南黄海都有静中动指标,在其周围150 km范围内,在这个范围结合地震带与强震构造指标,强震可能发生在这些带与段上,三性法对时间的分析也在目前时段,应值得进一步注意和研究。

3 预测结果简述及实际验证

对文献[1]预测过程可简述为:基于四川全境及周边地区的地震趋势分析对未来可能发生地震的地点进行预测。选定的研究方法是利用基本的地震学和地震地质方法初步综合选取,然后采取基于静中动判据进行搜索,最终选定未来可能发生地震区域处在南北地震带中段的鲜水河断裂带附近。

基于以上地点预测的结果,用鲜水河断裂带进行三性法的地震时间序列分析:基于该地震带 7 级及以上历史地震及现代仪器记录的强震时间间隔的分析,得到以 30 年为基数的初始数据点的数值,然后以三性法则(周期性、倍周期性、黄金分割性)进行数据挖掘,最后得到 2013 年为发震的重要可能时间点。

对于这一时间点,再考虑 2008 年汶川地震发生对周边断裂带的相互影响作用而确定发生地点;垂震底继即呈正交或近正交相交的两个发震断裂,一个断层发生地震后,另一个断层则就“继”而提前其发震的时间,2008 年汶川地震发生在龙门山大断裂带上,其“继”的断裂则属于鲜水河断裂带。鉴于汶川地震后龙门山断裂带对鲜水河断裂带的加震作用,一般表现为时间的提早,而三性法定出一个前后一年会发生地震的时间段;对垂震底继的发震时间

提前表现,其处理方法就是三性法定出时间来取最早的,因而做出了这样的结论:“……在这种情况下汶川地震的发生对鲜水河断裂带起到加震的作用,因此我们认为在鲜水河断裂带上 2013 年左右发生 7 级以上大震的可能性很大。”

这是第一层次的预测,即圈定了鲜水河断裂带为主要危险的发震断裂。第二层次是在鲜水河断裂带上具体什么地方发生地震的可能性最大呢?

可用静中动判据对这个断裂带上的地震进行判断。该地区在 1978—1986 年平静期内共发生了 2 次 $6 \leq M_s < 7$ 的地震,他们分别是 1981 年 1 月 24 日四川道孚 6.9 级地震和 1982 年 6 月 16 日四川甘孜西北 6 级地震。以这些地震的震中位置为圆心,以 100 km 为半径分别作圆,预测未来发生的大震震中位置就会落在这个 100 km 圆形范围之内(图 3)。

考虑到该地区构造的复杂性,将接近龙门山断裂带与鲜水河断裂带的交汇区,即康定—泸定一带,我们曾指出“又由于该地区构造活动相对比较复杂,断裂带之间可能存在着较强的相互作用。因此未来大震发生的位置可能会出现在虚线范围以外的地区,但是偏离不会太远。”这个定性的不远,在通常是到 50 km 的距离。

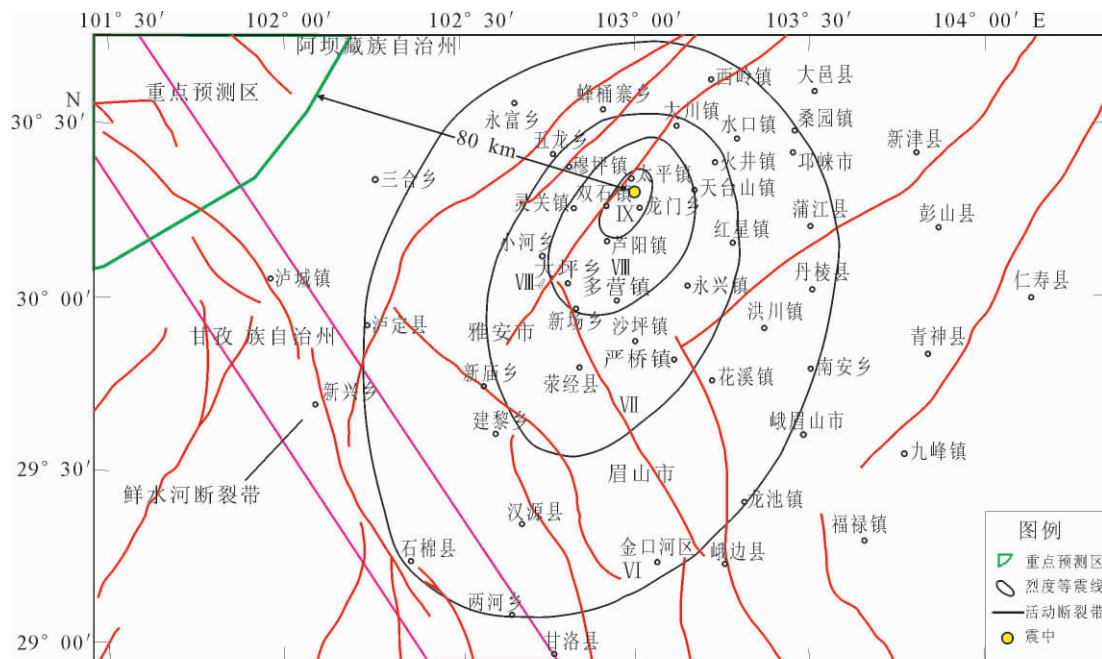


图 4 预测区与实际地震发生等烈度线示意图(等烈度线引自中国地震局公布的数据)

Fig. 4 Diagram of Intensity lines of real seismic area (Intensity lines are quoted from data released by CEA) and the prediction area.

震后验证,2013年发生的芦山7.0级地震在龙门山断裂带的南段。据中国地震局公布的芦山地震烈度图,Ⅵ度的边缘涵盖鲜水河断裂带(图4)。

地震的震中与鲜水河断裂带相距近80 km,这个距离符合垂震底继作用距离,见式(1)和表2所示。与静中动判据划的圈差了也近80 km。但是预测地区发生了误差,断裂带也产生了偏离,这是相对不足的。

需要指出的是,按文献[1]的预测,鲜水河地震带的地震未减,仍应注意原论文中对鲜水河断裂带进行的预测结论。

4 结论

重点回顾了基于三性法、静中动、垂震底继模式对鲜水河地区的地震进行的预测研究的方法与过程。该方法在震前一年给出了在鲜水河断裂带上2013年左右发生7级以上大震的可能性很大的结论,在鲜水河断裂带上重点认定了两个具体发生的区域,其中圈的南边的一个范围与这次芦山地震的震中差70~80 km左右。

这个预测的时间与强度全部准确,但地点与构造偏离,但若是认定该地区构造复杂性扩展到50 km时,就基本扩展到了本次地震破坏区了。

文献[1]在四川省境内仅报了两个重叠的各100 km的同心圆,在南北带北部的甘肃、陕西未有预测区,南部云南也仅有一个预测区,时间明指2013年强度定为7级以上,因而该方法进行的预测不存在圈定很多预测区和时间段偶尔碰上的问题。

从这次地震的回顾性预测,以及多次地震预测实践的验证表明,三性法、静中动两种方法针对7级以上地震的时间与地点的圈定是有一定的效能,方法指标明确,是一种预测强震的良好参考方法。若通过再深入研究其机理,并结合别的预测指标做出预测,将会进一步提高预测的准确性。

[参考文献]

[1] 李鑫. 静中动与三性法指标预测大地震的方法系统研究及成因探讨[D]. 兰州: 中国地震局兰州地震研究所, 2012.
LI Xin. Static Method of Moving Targets in Three of the Earthquake Prediction Research Method and Origin of the System [D]. Lanzhou: Lanzhou Institutue of Seismology, 2012.

[2] 郭增建, 韩延本, 吴谨冰. 由三性法和静中动判据预测大震[J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 210-211.
GUO Zeng-jian, HAN Yan-ben, WU Jin-bing. On Prediction of Strong Earthquakes by means of Three Triplet Method and Criterion of Activity in Quiescence [J]. Earth Science Fron-

tiers, 2003, 10(1): 210-211.

[3] 郭增建, 韩延本, 吴谨冰. 从震源物理角度讨论外因对地震的触发机制[J]. 国际地震动态, 2001, 20(1): 13-15.
GUO Zeng-jian, HAN Yan-ben, WU Jin-bing. Discussion on Earthquake Triggering Mechanism by External Factors from the Angle of Earthquake Source Physics [J]. Recent Developments In World Seismology, 2001, 20(1): 13-15.

[4] 郭增建, 秦保燕, 李革平. 未来灾害学[M]. 北京: 地震出版社, 1992.
GUO Zeng-jian, QIN Bao-yan, LI Ge-ping. Science of Future Disaster [M]. Beijing: Seismological Press, 1992.

[5] 郭增建, 秦保燕. 由“静中动判据”对1996年2月3日丽江7级大震的中长期预测[J]. 地震学报, 2002, 22(4): 442-445.
GUO Zeng-jian, QIN Bao-yan. The Mid-long Term Prediction of the February 3, 1996 Lijiang Earthquake ($M_S=7$) by "Criterion of Activity in Quiescence [J]. Acta Seismologica Sinica, 2002, 22(4): 442-445.

[6] 郭增建, 郭安宁, 华北地区某些地震问题讨论[J]. 内陆地震, 2011, 25(4), 300-306.
GUO Zeng-jian, GUO An-ning. Discussion on Some Problems of Earthquake Activities in North China [J]. Inland Earthquake, 2011, 25(4), 300-306.

[7] 郭增建, 秦保燕. 大震重复性与减震作用[J]. 西北地震学报, 1984, 6(4), 89-96.
GUO Zeng-jian, QIN Bao-yan. Repetition of Strong Earthquake and Reduction of Seismic Risk [J]. Northwestern Seismological Journal, 1984, 6(4): 89-96.

[8] GUO An-ning. Discussion on Problem of Earthquake Reduction [J]. Northwestern Seismological Journal, 1989, 11(2): 96-99.

[9] 郭安宁, 陈家超. 中国大震问题[M]. 北京: 地震出版社, 2002.
GUO An-ning, CHENG Jia-chao. Strong Earthquake Problem of China [M]. Beijing: Seismological Press, 2002.

[10] 郭安宁. 考虑发震断层相互作用的地震危险性分析讨论[J]. 西北地震学报, 1989, 11(增刊): 22-28.
GUO An-ning. Discussion of Seismic Hazard Analysis Considering Earthquake Fault Interaction [J]. Northwestern Seismological Journal, 1989, 11(Supp.): 22-28.

[11] 郭安宁, 郭增建, 焦姣. 青海玉树7.1级大震的预测讨论[J]. 西北地震学报, 2012, 34(1): 39-43.
GUO An-ning, GUO Zeng-jian, JIAO Jiao. Discussion on Prediction of Qinghai Yushu M_S 7.1 Earthquake [J]. Northwestern Seismological Journal, 2012, 34(1): 39-43.

[12] 郭安宁, 郭增建. 5·12汶川地震预报回顾[M]. 西安: 西安地图出版社, 2009.
GUO An-ning, GUO Zeng-jian. The 5·12 Wenchuan Earthquake Prediction Review [M]. Xi'an: Xi'an Map Publishing House, 2009.

[13] 郭安宁, 郭增建. 从震源模式讨论2008年汶川8级地震的回顾性预测[J]. 西北地震学报, 2010, 32(1): 115-126.
GUO An-ning, GUO Zeng-jian. A Discussion on the Retrospective Prediction of the M_S 8.0 Wenchuan Earthquake in

- 2008 by Means of Earthquake Source Models[J]. Northwestern Seismological Journal, 2010,32(1):115-126.
- [14] 郭增建,陆鸣,李革平,等. 青海 7 级以上大地震发生时间特点的研究[J]. 西北地震学报,2006,28(1):92-94.
GUO Zeng-jian, LU Ming, LI Ge-ping, et al. Study on the Temporal Regularity of Large Earthquake ($M \geq 7$) Occurrence in Qinghai Province [J]. Northwestern Seismological Journal,2006,28(1):92-94.
- [15] 郭增建,郭安宁. 用非传统方法回顾性讨论 2008 年新疆于田 7.3 级地震的预测[J]. 西北地震学报,2009,31(1):102.
GUO Zeng-jian, GUO An-ning. Reviewing Discussion on the Prediction of Yutian M_s 7.3 Earthquake in Xinjiang on March 21,2008, by Nontraditional Prediction Method [J]. Northwestern Seismological Journal,2009,31(1):102.
- [16] 郭安宁,郭增建. 二外因合成预测地震[A]// 灾害预测方法集成[G]. 北京:气象出版社,2010:191-193.
GUO Zeng-jian, GUO An-ning[A]// Integration of Disaster Prediction Methods [G]. Beijing: China Meteorological Press,2010:191-193.
- [17] 贾鹏,张希,张晓亮,等. 汶川地震前后川滇及其邻区 GPS 水平运动演化特征[J]. 西北地震学报,2012,34(3):264-267,273.
JIA Peng, ZHANG Xi, ZHANG Xiao-liang, et al. Evolution Features of Crustal Horizontal Movement from GPS Observation in Sichuan-Yunnan Region and Its Adjacent Area before and after the Wenchuan Earthquake [J]. Northwestern Seismological Journal, 2012,34(3):264-267,273.
- [18] 和平,李志雄,陆远忠,等. 断层面的有限单元模拟方法综述[J]. 西北地震学报,2011,33(2):186-194.
HE Ping, LI Zhi-xiong, LU Yuan-zhong, et al. Overview of Researches on Fault Simulation by Finite Element Method [J]. Northwestern Seismological Journal, 2011,33(2):186-194.
- [19] 刘白云,袁道阳,陈继锋,等. 玉树 M_s 7.1 地震时空破裂过程及与地表破裂带的对应关系 [J]. 西北地震学报 2012,34(1):23-29.
LIU Bai-yun, YUAN Dao-yang, CHEN Ji-fen, et al. The Corresponding Relationship between Temporal-apatial Process and Earthquake Surface Ruptures Zone of Yushu M_s 7.1 Earthquake [J]. Northwestern Seismological Journal, 2012,34(1):23-29.
- [20] 刘小凤,梅秀苹,冯建刚,等. 青藏高原北部地区地震基本活动状态定量评价[J]. 西北地震学报,2011,33(2):130-136.
LIU Xiao-feng, MEI Xiu-ping, FENG Jian-gang, et al. Quantitative Estimating Basic State of Seismicity in Northern Region of Qinghai-Xizang Plateau[J]. Northwestern Seismological Journal,2011,33(2):130-136.
- [21] 王双绪,张希,祝意青,等. 南北地震带北段强震形变异常特征与预测指标研究[J]. 西北地震学报,2012,34(2):105-113.
WANG Shuang-xu, ZHANG Xi, ZHU Yi-qing, et al. Study on the Characteristics of Strong Earthquake Deformation Anomalies and Forecasting Index in the North Segment of the South-north Seismic Belt of China[J]. Northwestern Seismological Journal,2012,34(2):105-113.
- [22] 阮祥,程万正,乔惠珍,等. 安宁河—则木河地震带震源参数及应力状态的研究[J]. 西北地震学报,2011,33(1):46-50.
RUAN Xiang, CHENG Wan-zheng, QIAO Hui-zhen, et al. Research on Source Parameters and Stress State in Anninghe-Zemuhe Earthquake Belt [J]. Northwestern Seismological Journal,2011,33(1):46-50.