

芦山地震:一个成功的中期预测案例

曾佐勋, 王 杰

中国地质大学(武汉)教育部三峡库区地质灾害研究中心, 湖北 武汉 430074

中国地质大学(武汉)地球科学学院, 湖北 武汉 430074

华中构造力学研究中心, 湖北 武汉 430074

ZENG Zuoxun, WANG Jie

Three Gorges Research Center for Geo-hazard, Ministry of Education, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China
Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences(Wuhan), Wuhan 430074, China
Huazhong Tectonomechanical Research Center, Wuhan 430074, China

ZENG Zuoxun, WANG Jie. Lushan earthquake: A successful case for medium-term prediction. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(3): 021-024

Abstract: Lushan Earthquake (M_s 7.0, April 20, 2013) is another disastrous geological event along the Longmenshan earthquake fracture zone after 2008. This article reviews a successful medium-term prediction for the large Earthquake. It also gives the reason for the prediction of the epicenter. In the morning of November 25, 2012, the Committee for Predicting Natural Disasters of Chinese Geophysical Society discussed the Medium-Term earthquake prediction for the southwest China. Qingguo Geng, the director of the committee reviewed his prediction presented in April, 2012, that there would be a possible earthquake of M_s 7.0 to M_s 8.0 in the southwest China during the period of May, 2012 through May, 2013. Members attended the meeting agreed with the prediction time, but had different opinion in the location of the possible large earthquake in the southwest China. The first author made a presentation at the meeting. Zuoxun Zeng gave a definite location on his prediction map. It is located at the middle of the line linking Ya'an and Kangding, Sichuan Province. This prediction is made mainly according to two aspects. One is that two satellite local intense gravity anomalies with the same characteristics are appearing at the Wenchuan area and the west to Ya'an City, respectively. The other is that the Wenchuan earthquake only released the energy of the northeast part of the longmenshan fracture zone, this leads to the stress and energy concentration at the southwestern part of the fracture zone, especially at the southwestern end of the Longmenshan fracture zone with the abrupt gravity change, or abrupt change of density of the middle crust. The epicenter of Ya'an Earthquake (M_s 7.0) is located at Lushan of Ya'an City, 80 km from the predicated location. The origin time of the quake is before May of 2013. The successful medium-term prediction of the Lushan earthquake has given us a good deal of enlightenment; as a geological process, earthquake should have its own regularity. A successful earthquake prediction needs comprehensive analysis by using information from different observations. Just because of this, the main need now is a national or international expert group with comprehensive analysis experience and an efficient information platform for seismic precursor. The data processing and update for the satellite gravity will be helpful to narrowing the area of the possible large earthquakes.

Key words: Lushan earthquake; medium-term prediction; satellite abrupt gravity change; Wenchuan earthquake; Longmenshan fracture zone

收稿日期:2013-04-29;修回日期:2013-05-02

基金项目:国家“985”创新平台建设项目“三峡库区地质灾害研究”

作者简介:曾佐勋(1954—),男,教授,博士生导师,主要从事构造地质教学和科研工作,任湖北省地震学会副理事长,中国地球物理学会天灾预测专业委员会委员。E-mail: zuoxun.zeng@126.com

<http://www.earthsciencefrontiers.net.cn> 地学前缘,2013,20(3)

摘要:2013年4月20日 M_s 7.0级芦山地震是2008年汶川地震以后龙门山断裂带的又一个灾难性的地质事件。文中回顾了对芦山地震的成功中期预测并给出了预测的依据。2012年11月25日上午,中国地球物理学会天灾预测专业委员会讨论中国西南地区中期地震预测问题。专业委员会主任耿庆国回顾了2012年4月作出的中期预测,认为2012年5月至2013年5月期间,在我国西南地区可能存在 M_s 7~8级地震。参加会议的委员们同意这一时间预测和震级预测,但是在震中位置预测方面存在不同意见。文章第一作者在会上作了一个报告,并展示了确切的震中预测位置图,即位于四川省雅安与康定连线的中间位置。这一预测的依据主要有两个方面:一方面,雅安西侧与汶川两地,具有两个特征相同的独立的卫星重力局部高异常;二是汶川(5·12)大震只是释放了龙门山断裂带北东段的能量和应力,这导致能量和应力在龙门山断裂带南西段,特别是南西端与重力异常突变叠加区(即中上地壳密度突变区)的加速积累和集中。芦山地震震中位于雅安芦山,与预测震中位置仅相差80 km,发震时间在2013年5月前。芦山地震中期预测的成功给予我们很多启示。作为一种地质过程,地震应该有其自身的规律可循;成功的地震预测需要多方面观测信息的综合分析,正是基于此,目前迫切需要国家的或者国际的具有综合分析经验的专家组和有效的前兆信息平台;卫星重力异常数据的处理和更新将有助于缩小强震预测的包围圈。

关键词:芦山地震;中期预测;卫星重力突变;汶川地震;龙门山断裂带

中图分类号:P315.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2321(2013)03-0021-04

2013年4月20日发生在中国四川雅安芦山的 M_s 7.0级地震是2008年“5·12”汶川地震之后龙门山地震断裂带又一个灾难性地质事件。到目前为止,统计数据显示,这次地震中死亡193人,伤1200余人,经济损失估计达数百亿元。地震能否预测的问题再一次被提出来。本文并不准备回答这一科技界争论不休的问题,而是对于2012年11月25日在中国地球物理学会天灾预测专业委员会会议期间对于这一地震的中期预测过程、预测依据加以回顾,期望为中长期地震预测提供新的思路。

1 预测过程回顾

2012年11月25日,中国地球物理学会天灾预测专业委员会在讨论我国西南地区的中期地震预测时,耿庆国主任委员回顾了他在2012年4月提出的预测意见,认为我国西南地区在2012年5月至2013年5月之间,可能发生 M_s 7.0~ M_s 8.0级地震。在讨论具体位置时,委员们提出了不同意见。本文第一作者在这次会议上作了“四川盆地下一个大震位置预测及2013年学术计划”的学术报告^①,给出了预测的具体位置(图1)。2012年11月26日,张建国在给曾佐勋的电子邮件中预测了四川在2013年2月前可能发生地震的区间。其中一个预测位置区间是28.50°N~30.5°N;99.5°E~102°E;震级 M_s 6.0~6.5~7.0。他征询曾佐勋对于四川未来几个月内地震位置的预测意见。曾佐勋在回复中明确指出,四川盆地及其周边下一个大震的位置在四川康定与雅安之间的泸定北东附近,并让张建国参考2012年11月25日曾佐勋在全国天灾预测

年度总结学术会议上所做报告的幻灯片上的具体预测位置^②。2012年11月28日,张建国在提交给中国地球物理学会天灾预测专业委员会的补充预测意见中,保留了他预测区北部边界30.5°N,将原来的预测区间的东部边界从102°E移动到了103°E,具体预测地名中补充了天全县,并专门注释,天全县的预测参考了中国地质大学曾佐勋的预测意见^③。2013年雅安芦山地震震中位于103°E,30.3°N,正好位于这一预测区内。雅安芦山地震发震时间在耿庆国的预测区间(2012年5月—2013年5月)以内。从位置来看,曾佐勋的预测位置与实际震中位置仅相差80 km。毫无疑问,将耿庆国、曾佐勋的预测意见综合起来,这应该是一次成功的中期地震预测(因为中期地震预测的要求是:未来1~2年内发生破坏性地震的地域和强度。此次的预测时间范围从2012年11月25日到2013年5月,发震时间在2013年4月20日;此次发震地点与预测地点仅仅相差80 km,达到中期预测要求;此次地震的震级 M_s 7.0在预测的震级 M_s 7.0~8.0范围内)。

2 预测依据

2.1 雅安芦山地震构造背景

雅安芦山地震震中所在的龙门山断裂带主要由

- ① 曾佐勋. 2012-11-25在北京工业大学召开的“2012年全国天灾预测总结学术会议”大会专题报告. 北京:北京工业大学,2012.
- ② 曾佐勋. 2012年11月26日给张建国的私人电子邮件. 武汉:中国地质大学(武汉),2012.
- ③ 张建国. 2012年11月28日天灾年度预测报告简表(年度追踪预测意见)或2012年11月29日给曾佐勋的私人电子邮件.

3 条具有发生强烈地震能力的主干断裂所组成。

对龙门山地壳结构研究表明,在龙门山断裂带西侧,深度约 20 km 附近的地壳中普遍存在中地壳韧性流变层,其特征在地球物理上表现为高导低速层,流变学上为低黏性层。

在雅安以西地区,韧性流变层上覆的中上地壳物质向着东侧的四川盆地滑脱推覆。因此,韧性流变层起到区域性逆冲推覆的主滑脱层的作用。

2.2 雅安芦山地震预测依据

雅安芦山地震预测依据主要基于两个方面:一是卫星重力异常特征;二是汶川地震释放的能量分析。

卫星重力异常的变化反映地壳深部物质的密度变化。通过调整阶次范围,可了解地壳不同深度的场源密度变化特点^[1]。芦山地震预测中用到的 2-360 阶卫星重力异常图(图 1)反映了场源深度为 18 km 的中、上地壳密度分布特征^[2-3]。

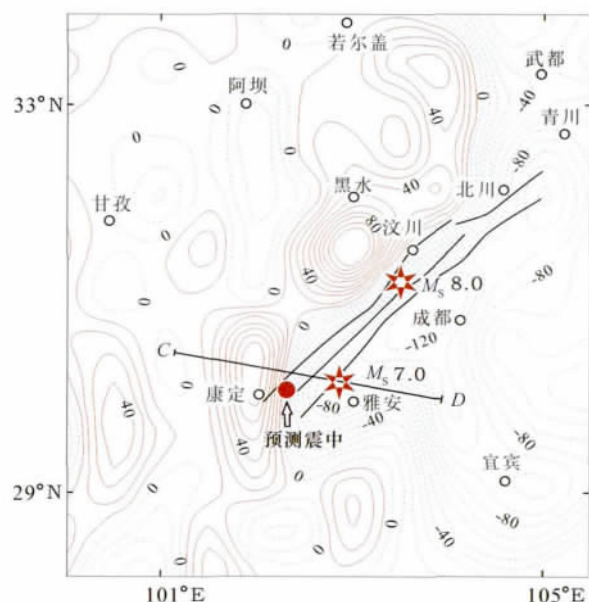


图 1 芦山地震震中,预测震中,汶川地震震中,龙门山断裂带及其与 2-360 阶卫星重力异常的关系
(卫星重力异常资料据费琪^[2-3])

Fig. 1 The epicenter of Ya'an Earthquake, the predicted epicenter, the epicenter of Wenchuan Earthquake, Longmenshan fracture zone and their relation to the satellite gravity anomalies with 2-360 order

图 1 显示龙门山断裂带西侧存在明显的高值异常区块,并分别在黑水和康定附件形成高值中心,重力异常值分别达到 +100 mGal 和 +75 mGal,异常曲线鞍部重力异常值下降至 +15 mGal 左右,两高值中心相对孤立。两个地区的重力异常值都具有从北西向南东方向骤减的特点。如在汶川地区,

在短距离内从北西侧的 +100 mGal 迅速降到南东侧的 -130 mGal。从卫星重力异常剖面(图 2)也可以清楚地看出在康定和雅安之间存在一个卫星重力异常的陡变部位。2008 年汶川 M_s 8.0 级地震恰好就发生在这样的一个类似的中上地壳物质密度突变区^[2]。

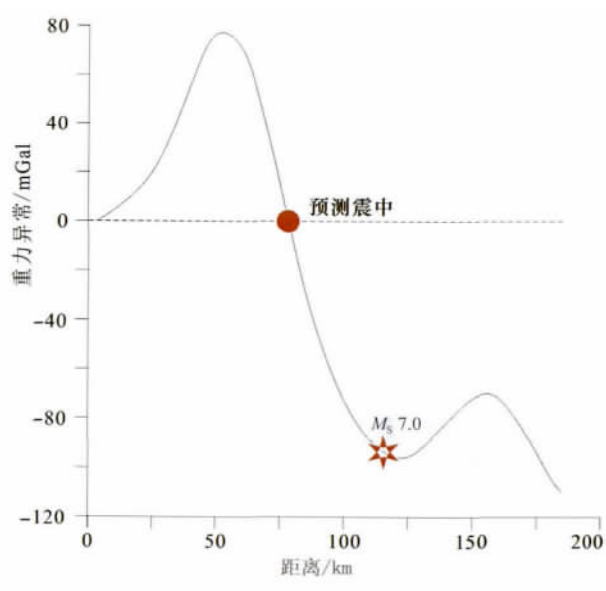


图 2 过雅安芦山的卫星重力异常剖面(C-D)及震中、预测震中

Fig. 2 The profile (C-D) of the satellite gravity anomalies passing through Lushan County of Ya'an with the epicenter and the predicted epicenter

雅安芦山地区处于龙门山地震断裂带南段,构造背景与汶川非常类似,分别处于龙门山重力梯度带上的两个地壳深部物质密度突变部位,同样承受着由于青藏高原深部壳、幔物质向东推挤而造成的巨大应力和能量^[4-6]。然而,由于汶川地震及其余震主要集中于龙门山断裂带北段^[7-8],使断裂带北段所积累的能量得到释放。雅安地区在汶川强震发生之后,应力和能量未得到释放,反而造成能量和应力在康定—雅安地区中上地壳密度突变区的加剧和集中。

正是基于以上分析,本文第一作者在 2012 年 11 月 25 日作出了四川盆地及其周缘下一个大地震将发生在康定与雅安之间的泸定县北东附近的大胆预测。不到 5 个月,这一预测得到雅安芦山 M_s 7.0 级地震的验证。

2.3 发震机制分析

在总结板内地震特点的基础上,我们提出了板内地震的三层次构造模式^[9]:地幔隆起、中地壳流变

层边缘部位和上地壳浅层次脆性破裂。韧性流变层通过吸收地幔隆起带来的大量热能,使自身具有更高的流动性。韧性流变层与其上下的能干层构成“三明治”构造。热能和机械能引起的应变能在两种不同流变介质边界附近,特别是“三明治”构造的尖端(即韧性流变层靠近四川盆地一侧的边缘部位)附近强烈集中。当这些能量引起的应力超出韧性流变层上部或边缘的脆性层破裂强度或摩擦极限时,便引起接触面的突发破裂或拆离,形成地震。已有大量研究发现,板内强震大多发生在高、低波速异常转换区间,说明强震更趋向发生在物性差异较大的部位^[10-12]。这些观测与分析支持了我们的论点。

通过深部构造研究,我们不难发现,汶川地震和芦山地震都是发生在这样的中地壳韧性流变层边缘部位(剖面上的尖端部位)。实际上,汶川地震与芦山地震具有同样的发震机理。

(1)二者震中同样处于松潘-甘孜地块向四川盆地逆冲(局部兼有右行走滑)的龙门山地震断裂带上。

(2)二者震中区具有相同的深部构造特征:①二者处于同一个地幔隆起带;②中地壳具有同样的韧性流变层,二者分别处于两个中上地壳密度突变区间;③上地壳同样发育向四川盆地逆冲推覆的脆性断裂。

(3)二者具有相同的动力来源,即印度板块向欧亚大陆的推挤,造成松潘-甘孜地块向四川盆地的推挤。

不同之处在于汶川地震区卫星重力异常梯度(中上地壳密度梯度)大于芦山地区。然而由于汶川地震释放龙门山断裂带北东段的应力和能量,造成了南西段能量和应力集中的加剧,从而造成在汶川5·12地震5年之后的芦山4·20地震的发生。

3 启示及展望

通过对雅安芦山地震预测的过程和预测依据加以分析,读者不难得出这不是巧合。我们从这次中期预测的成功可以得到以下几点启示:

(1)地震的发生作为一种地质过程,应该有其自身的规律可循。

(2)地震预测需要多方法的综合分析,目前还献有一种“包打天下”的独立方法。

(3)基于第二点,地震预测迫切需要能够进行综合分析的国家组织的专家组,并建立全国统一的地震前兆信息监测平台。

(4)卫星重力场资料的处理与及时更新,不失为中长期地震预测的一种有效方法之一,需要进一步开展这方面的研究与应用。从深部地质结构重新划分地震危险区与安全岛,为工程建设和防震减灾提供依据,为短临预测缩小包围圈。

感谢杨巍然、张人权和费琪三位教授的支持和指导。

参考文献

- [1] 滕吉文,王谦身,王光杰,等.喜马拉雅“东构造结”地区的特异重力场与深部地壳结构[J].地球物理学报,2006,49(4):1045-1052.
- [2] 费琪.壳幔物质流变的底辟作用孕育大地震:卫星重力资料的证据[J].地学前缘,2009,16(3):282-293.
- [3] 费琪.汶川大地震的深部构造特征[J].工程地球物理学报,2008,5(4):387-395.
- [4] 滕吉文,白登海,杨辉,等.2008汶川 M_s 8.0地震发生的深层过程和动力学响应[J].地球物理学报,2008,51(5):1385-1402.
- [5] 张培震,徐锡伟,闻学泽,等.2008年汶川8.0级地震震发断裂的滑动速率、复发周期和构造成因[J].地球物理学报,2008,51(4):1066-1073.
- [6] 陈祖安,林邦慧,白武明,等.2008年汶川8.0级地震孕震机理研究[J].地球物理学报,2009,52(2):408-417.
- [7] 王勤彩,陈章立,郑斯华.汶川大地震余震序列震源机制的空间分段特征[J].科学通报,2009,54(16):2348-2354.
- [8] 陈九辉,刘启元,李顺成,等.汶川 M_s 8.0地震余震序列重新定位及其地震构造研究[J].地球物理学报,2009,52(2):390-397.
- [9] 杨巍然,曾佐勋,李德威,等.板内地震过程的三层次构造模式[J].地学前缘,2009,16(1):206-217.
- [10] 韦伟,孙若昧,石耀霖.青藏高原东南缘地震层析成像及汶川地震成因探讨[J].中国科学:D辑,2010,40(7):831-839.
- [11] 李德威.东昆仑、玉树、汶川地震的发生规律和形成机理:兼论大陆地震成因与预测[J].地学前缘,2010,17(5):179-192.
- [12] 张乐天,金胜,魏文博,等.青藏高原东缘及四川盆地的壳幔导电性结构研究[J].地球物理学报,2012,55(12):4126-4137.