

2008年3月11日河北卢龙3.9级地震预测过程*

马建英, 汪翠枝

(天津市地震局, 天津 300201)

摘要:总结了2008年3月11日河北卢龙 $M_s3.9$ 地震的前兆异常特征、异常分析的过程及预测实践,结果表明:伸缩应变可能对发震的方向具有一定指示意义;多学科综合运用,对准确预报天津及附近地区地震三要素具有重要意义。

关键词:卢龙 $M_s3.9$ 地震;前兆异常;分析;预测

中图分类号: P315.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2010)01-0014-05

0 引言

2008年3月11日河北卢龙发生 $M_s3.9$ 地震。在此次地震前,天津地区蓟县台小辛庄伸缩应变仪EW向、潘庄井水位、天船井水位及塘沽台土壤气 CO_2 出现了异常。根据这些前兆异常,天津市地震局地震预报中心在2008年2月27日的月会商中提出“天津及其邻近地区下月发生中等以上地震的可能性不大,注意唐山老震区中等地震活动”的预报意见。自2004年以来,天津市地震局先后在两次地震前提出过较为明确预测意见,一次是河北文安 $M_s5.1$ 地震,另一次就是卢龙 $M_s3.9$ 地震。本文通过对卢龙地震的前兆异常特征、异常分析过程及预测实践的全面总结,以期提高天津及邻地区前兆异常识别的科学性,不断提高地震预测预报水平。

1 前兆异常及特征

卢龙3.9级地震前,天津地区出现4个地下流体和形变异常点,分布于宁河、塘沽和蓟县3个区县,距震中最近的为蓟县小辛庄形变点($\Delta = 106$ km),最远的为天船井($\Delta = 139$ km),流体异常点集中在NE向的沧东断裂和近EW向的海河断裂附近(图1)。

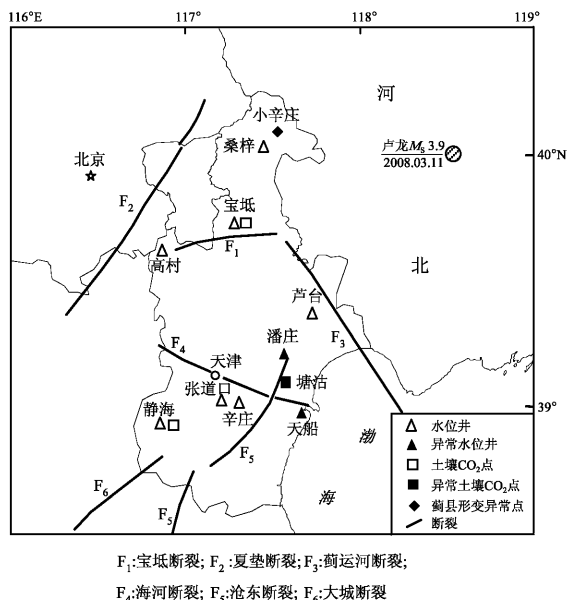


图1 2008年3月11日卢龙3.9级地震震中位置与异常点分布

Fig. 1 Epicenter and anomaly location distribution of Lulong earthquake with $M_s3.9$ on March 11, 2008

1.1 小辛庄台伸缩应变异常

蓟县地震台小辛庄子台距震中106 km,高程约100 m,观测山洞深240 m,覆盖层平均厚度约80 m。观测洞室位于山体的南坡山麓,周围有十几口农用井,山体南面约2 km处有面积120 km²、库容 $(2 \sim 3) \times 10^8$ m³的于桥水库。台站在构造上位于燕山沉降带的“京东台凹”的北部,洞体岩

* 收稿日期: 2008-10-09.

基金项目: 天津市地震局基金项目(07005, 84008)、天津市科技支撑计划重点项目(07ZCGYSF03100)和2009年度震情跟踪合同制定向任务(2009020805)联合资助。

性为震旦系石灰岩。台站附近断裂构造较为复杂, 存在一系列断裂和褶皱, 较为重要的有蓟县山前断裂、杨庄断裂和黄崖关断裂。SS-Y 型伸缩应变仪安装在洞室最深处, NS 向和 EW 向的跨距均为 39 m, EW 向方位角为 59.94° , NS 向方位角为 144.87° 。

伸缩应变仪观测主要受短周期事件干扰, 如季节性抽水和强降雨。春季和冬季抽水会使仪器两分向加速拉张变化, 而雨季强降雨又会引起两分向加速压缩。两分向均表现为长趋势压缩变化,

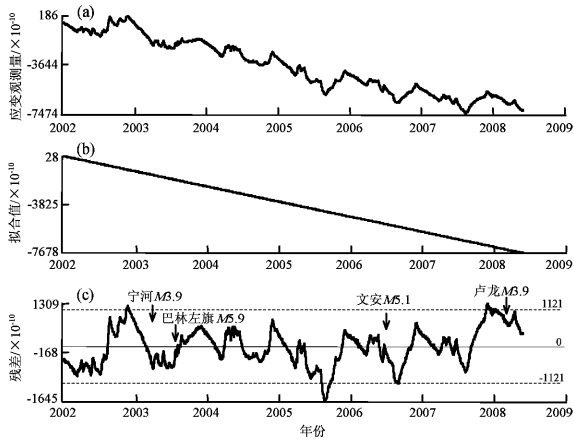


图 2 蓟县小辛庄伸缩仪 EW 向日均值曲线 (a)、K-L 法拟合 (b) 及拟合残差 (c)

Fig. 2 Curves of daily mean value of magnification-strain about EW (a) and fitting results of the K-L method (b) and the fitting residual error (c) in Jixian station

1.2 流体异常

(1) 潘庄井

潘庄井位于天津市宁河县潘庄镇潘庄中学内, 距震中 128 km。该井于 1979 年 11 月 8 日建成, 位于沧东断裂的西侧、潘庄低凸起上。成井井深 61 m, 观测层为第四系砂层, 地下水类型属孔隙承压水, 上覆 20 余米的粘土隔水层, 其下也有较厚的粘土层, 因而封闭性较好。1980 年 4 月正式开展咸水位观测, 水位日变幅度在 1~3 cm, 无年变规律。自投入观测以来, 在首都圈地区, 尤其是唐山老震区发生的多次中强地震前, 多可记录到明显的水位异常变化, 异常特征均表现为大幅度上升的正异常 (邵永新, 郑文俊, 2002; 马建英等, 2008a)。在 2006 年 7 月 4 日文安 $M_{5.1}$ 地震前, 该井于 2006 年 6 月出现水位大幅度上升异常变化, 接

与区域水平应变场变化一致 (陆明勇等, 2006; 杨国华等, 2007)。为了提取短周期信息, 我们对观测资料日均值用 K-L 最佳直线拟合方法进行拟合。图 2 是小辛庄伸缩仪 EW 向日均值及直线拟合结果。图 3 是小辛庄伸缩仪 NS 向日均值及直线拟合结果。由图 2 拟合残差结果可以看出, 2007 年 11 月下旬记录曲线出现加速拉张变化, 12 月 4 日张性最大, 随后在 2 倍方差值附近波动, 2008 年 2 月下旬又恢复加速拉张, 加速恢复后 20 天即 3 月 11 日河北卢龙发生 $M_{3.9}$ 地震。

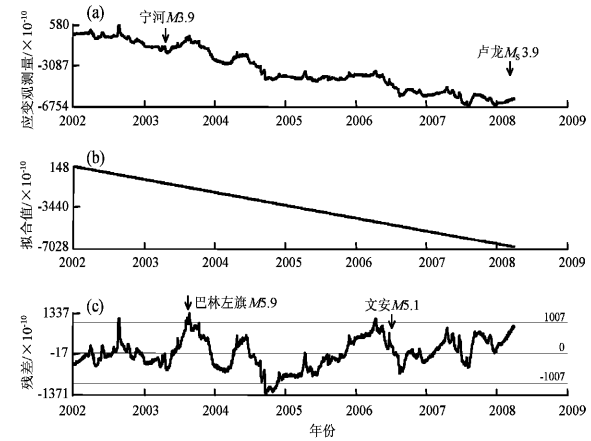


图 3 蓟县小辛庄伸缩仪 NS 向日均值曲线 (a)、K-L 法拟合 (b) 及拟合残差 (c)

Fig. 3 Curves of daily mean value of magnification-strain about NS (a) and fitting results of the K-L method (b) and the fitting residual error (c) in Jixian station

着又转为下降, 转降后 13 天发生文安地震 (图 4a) (马建英等, 2008b; 邵永新, 王俊国, 2008)。

2007 年潘庄井水位出现了两次大幅度上升异常。第一次异常出现于 6 月 10~12 日, 水位突升 4.3 m, 之后在高值波动, 8 月初转为下降变化, 至 11 月中旬基本恢复到突升前水平。11 月 28 日水位第二次出现突升变化, 至 12 月 11 日水位上升了 4.32 m。2008 年 1 月 8 日转为下降变化, 下降过程中, 于 2 月 21 日出现转折上升, 至 3 月 1 日上升了 1.99 m, 3 月 2 日又转为下降, 下降 10 天后就发生卢龙地震 (图 5a)。

(2) 天船井

天船井位于天津市塘沽区, 距震中 139 km。该井于 1979 年 6 月成井, 位于海河断裂南侧, 黄骅拗陷内的板桥凹陷上。完井井深 70.00 m, 观测

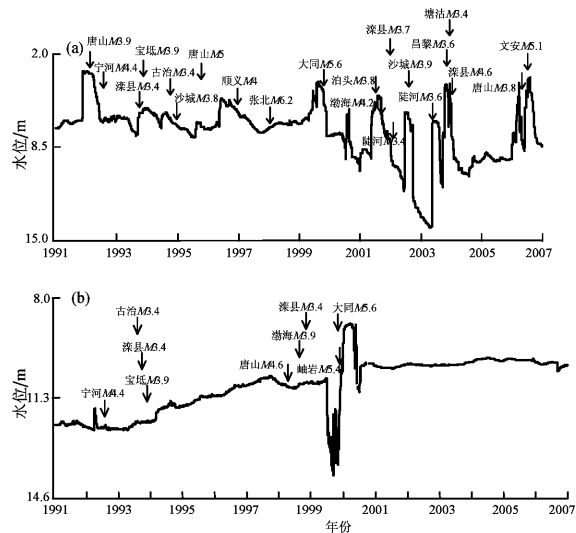


图 4 1991~2006 年潘庄井 (a)、天船井 (b) 水位日值趋势变化曲线

Fig. 4 Curves of daily mean value of water level at Panzhuang (a) and Tianchuan (b) from 1991 to 2006

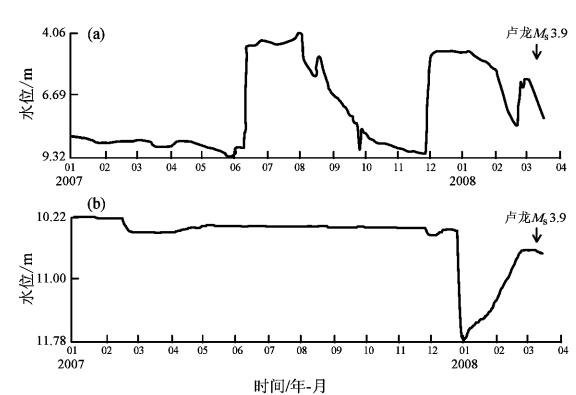


图 5 卢龙 $M_s3.9$ 地震潘庄井 (a)、天船井 (b) 水位异常曲线

Fig. 5 Curves of anomalies of water level at Panzhuang (a) and Tianchuan (b) before Lulong $M_s3.9$ earthquake

层段位于 59~64 m 之间。观测层为第四系青砂孔隙承压咸水层。1979 年 7 月正式开始咸水位观测。水位日变幅度为几毫米,无年变规律,多年变化趋势呈缓慢上升。从以往震例异常特征分析,该井水位均为下降型负异常(图 4b)(邵永新,郑文俊,2002)。2007 年 12 月 26 日井水位开始加速下降,至 2008 年 1 月 1 日累计下降 1.375 m,1 月 2 日又转为缓慢上升,至 2 月 25 日上升变化结束,呈持平变化,直至 3 月 11 日卢龙地震发生(图 5b)。在 1999 年 11 月 1 日山西大同 $M_s5.6$ 和 11 月 29 日辽宁岫岩

$M_s5.4$ 地震前,该井水位下降了 3.05 m,这两次地震后水位都立即恢复到原水平,说明观测井反映出明显的中短期异常(刘喜兰等,2003)。

(3) 塘沽台土壤气

为做好 2008 年北京奥运会期间的震情监视工作,天津市地震局在宝坻、静海、塘沽、张道口 4 个专业地震台站又增加了土壤气 CO_2 动态观测手段。具体监测方法是:在地下设 1.5 m 深的观测孔,孔内每天吊入一支 CO_2 测定管并密封孔口,采用累积测量法连续观测 24 h,即可获得土壤的 CO_2 释放量。自 2008 年 1 月 1 日开始观测以来,塘沽台 CO_2 含量背景值小于 $1 \times 10^4 \text{ mg/m}^3$ 。但 3 月 1 日 CO_2 含量出现了明显上升变化,3 月 4 日出现异常峰值,为 $2.5 \times 10^4 \text{ mg/m}^3$,是背景值的 2~3 倍,之后出现转折性下降,下降过程中发生卢龙地震。震后观测曲线出现了回跳,至 3 月底恢复到正常水平(图 6)。

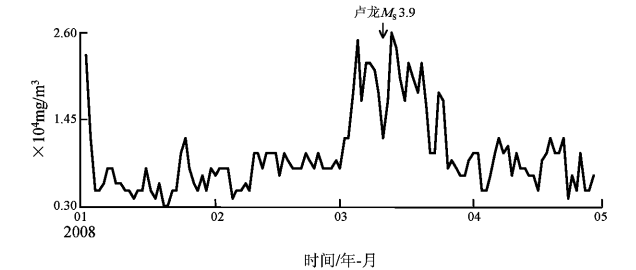


图 6 卢龙 $M_s3.9$ 地震塘沽台 CO_2 异常曲线

Fig. 6 Curve of the CO_2 anomaly at Tanggu station before Lulong $M_s3.9$ earthquake

1.3 前兆异常特征

通过对以上资料的分析,卢龙地震前天津地区前兆所表现出的异常特征(表 1)可以归纳为以下几点:

(1) 流体异常突出。震前出现 4 项明显的前兆异常,而流体异常就占 3 项。

(2) 出现水位异常的井孔都是咸水井。在距震中 200 km 范围内,天津水位井网共有 8 口观测井,其中 6 口淡水观测井均未出现异常变化,而 2 口咸水位观测井都出现了明显的异常变化。

(3) 异常属于中期和短临异常。潘庄井水位、天船井水位、塘沽台 CO_2 、小辛庄台形变异常开始时间距震时间分别为 105 天、77 天、10 天、113 天,均在 4 个月以内,并且震中距小的观测点首先出现异常。

(4) 两口咸水井表现出了不同的异常形态。潘庄井异常为水位阶变上升，天船井异常为水位阶变下降，这可能与它们所处的构造位置、区域构造应力场活动背景、震源应力场及活动构造等有关关系(邵永新等, 2000; 苗良田等, 1993; 邵永新等, 2001, 王博等, 2008)。

(5) 潘庄井水位震前出现类似“M”型的上升和下降异常组合。潘庄井水位于 2007 年 11 月 28 日上升，于 2008 年 1 月 8 日转为下降，临震前的 2 月 21 日水位再次上升，出现“临震回跳”现象^①(张国民等, 2001)，3 月 2 日又转折下降，10 天后发震。

表 1 天津地区前兆异常特征
Tab. 1 Characteristics of precursory anomalies in Tianjin area

序号	异常点名称	观测项目	异常特征			最大异常幅度/m	异常形态	异常类型	震中距/km
			初始	转折	结束				
1	潘庄井	水位	2007-11-28~12-11 上升 2008-02-21~03-01 上升	2008-01-08 转降 2008-03-02 转降		4.32 1.99	上升—下降	中期	128
2	天船井	水位	2007-12-26~2008-01-01 下降	2008-01-02 转升	2008-02-25	1.375	下降—上升	短期	139
3	塘沽台	CO ₂	2008-03-01	2008-03-05	2008-03-10	超 2 倍均方差	高值异常	临震	137
4	蓟县台小辛庄	伸缩仪 EW 向	2007-11-20	2008-02-20	2008-02-20	超 2 倍均方差	高值异常	中期	106

2 前兆异常分析

2.1 形变异常分析

2007 年 11 月下旬小辛庄台伸缩应变仪 EW 向出现加速拉张变化，12 月 4 日张性达到最大，随后在 2 倍方差值附近波动，至 2 月下旬异常结束，之后加速恢复。由于农用抽水井大多位于观测山洞的南面，所以抽水时 NS 向响应更为灵敏（拉张），且幅度较 EW 向大；强降雨也会使 NS 向的压缩变化突出一些。而这次地震前 EW 向出现了加速拉张变化，NS 向张性变化则不明显，这种现象持续了 3 个月，我们分析认为这与抽水并不完全相关，而应该是地壳应力的一种调整，属地震前兆异常。

小辛庄台伸缩仪自 2002 年恢复观测以来，曾在 2003 年 8 月 16 日内蒙古巴林左旗 $M_s5.9$ 和 2006 年 7 月 4 日河北文安 $M_s5.1$ 两次中强地震前出现较明显的异常反映。其特征是 NS 向均出现了短临的拉张异常变化（图 3），而 EW 向异常却不明显。巴林左旗地震发生在拉张异常过程中，文安地震发生在异常恢复后 1 个月左右，因此天津市地震局预报中心在 2008 年 2 月 27 日的月会商中，认为该伸缩应变仪 EW 向异常结束后加速恢复的这种变化预示着地震已进入短临阶段，未来 1 个月内发生地震的可能性很大。

在异常分析中我们还发现，本次地震前的异常形式与巴林左旗地震和文安地震前的异常有明

显的不同。伸缩应变仪 NS 向在巴林左旗地震和文安地震前均出现了拉张异常变化，EW 向则没有异常，这两次地震也分别位于小辛庄台以北和以南方向；而本次地震前伸缩仪 EW 向出现了张性异常变化，NS 向则没有地震异常。因此在 2008 年 2 月 27 日天津市地震局预报中心的月会商会上，形变学科组认为地震已进入短临阶段，发震地点在蓟县 EW 方向（其东部为唐山老震区）。

2.2 流体异常分析

针对 2007 年 6 月潘庄井水位出现的突升异常，天津市地震局预报人员曾多次到现场落实，但未发现干扰源，所以异常属实。根据该井以往震例，异常转折下降后 3 个月左右，天津及邻近地区、唐山老震区有发生中等及其以上地震的可能。但当时流体仅此一项出现异常，若以此提出预报意见，依据尚不十分充分，因此在第一次异常出现转折后，我们并没有在会商中提出预测意见。

2007 年 11 月 28 日潘庄井水位再次出现突升异常，并于 2007 年 12 月 18 日转降。随后，天船井水位于 12 月 26 日出现了突降异常。经落实，异常属实。在异常形态上，两口井变化相反，一口井水位上升，一口井水位下降。在异常时间上，两口井水位变化非常同步。两口井水位所表现出现的异常特征均是有震特征。但潘庄井在异常恢复过程中，水位于 2 月 21 日再次出现转折上升，分析其上升特征，认为该井水位在 2008 年 3 月应出现转折下降变化。而天船井于 2008 年 2 月 25 日

① 路鹏，刘士琳. 1993. 地震地下水动态观测.

水位结束缓升而呈持平变化。这种由上升恢复至转平(即正常变化水平)的过程往往标志着发震时间进入了短临状态。因此在2008年2月27日的月会商中,预报中心流体学科组认为3月份天津及邻近地区、唐山老震区有发生中等地震的可能。

2.3 预报情况

在2月27日的月会商会上,预报中心进行了充分讨论,依据流体学科组和形变学科组近年来的震例总结,分析了当时潘庄、天船两口井水位同时出现的异常特征,以及伸缩应变近期出现的加速恢复变化情况,最终提出了3月份“天津及邻近地区发生中等以上地震的可能性不大,注意唐山老震区中等地震活动”的预测意见。

3 基本认识

(1) 小辛庄台伸缩应变观测资料异常表明,地震多发生在出现异常测项的方向上,这一认识,对判定地震的发震位置有一定的指示意义。但这种变化是否与地震的孕震过程有关,尚需深入研究。

(2) 多学科综合运用,对准确预报地震三要素有重要意义。对卢龙地震的准确预报,在发震时间的把握上依据了潘庄井、天船井水位的变化特征,水位出现的转折、反向、升降转平为震前信号标志。而对发震地点的判定,则依据小辛庄台伸缩EW向出现张性异常变化,NS向没有异常的特点。这与其在巴林左旗地震和文安地震前出现的异常特征(NS向有张性异常变化,EW向则没有异常)正好相反,因此我们判断发震地点在

蓟县EW方向(其东部即为唐山老震区)。结合潘庄井水位异常也多对应天津邻区、唐山老震区中等地震(邵永新等,2002),最终提出了“注意唐山老震区中等地震活动”的预测意见。

本文得到天津市地震局蒋淳研究员、邵永新研究员的帮助,在此深表感谢。

参考文献:

- 刘喜兰,郑文俊,金燕,等.2003.天津地区井水位年变异常研究[J].地震地质,25(2):298-306.
- 陆明勇,牛安福,白长清,等.2006.地壳形变短临异常与地下水位短临异常关系及识别方法的初步研究[J].地震研究,29(1):13-20.
- 马建英,刘学领,杜宗和.2008a.天津潘庄井水位异常与地震关系的分析[J].华北地震科学,26(2):35-39.
- 马建英,刘学领,李君英.2008b.河北文安5.1级地震前天津地区地下流体异常特征[J].地震,28(1):73-78.
- 苗良田,景呈国,张德信.1993.大同—阳高地震的短临前兆[M]//张国国民,马丽.大同—阳高地震研究,北京:地震出版社:19-25.
- 邵永新,李君英,李一兵,等.2000.地下流体动态异常分布与构造的关系[J].西北地震学报,22(3):284-287.
- 邵永新,李君英,田山,等.2001.唐山7.8级地震前后地下流体动态异常演化特征[J].西北地震学报,23(1):26-29.
- 邵永新,王俊国.2008.2006年7月4日文安5.1级地震短临预测的实践[J].地震,28(2):108-114.
- 邵永新,郑文俊.2002.天津水动态项目异常的典型特征[J].地震,22(4):123-129.
- 王博,刘耀伟,孙小龙.2008.地下流体与断裂活动关系的研究综述[J].地震研究,31(3):296-302.
- 杨国华,张凤霜,韩月萍,等.2007.华北地区现今水平运动场的动态特征[J].地震,27(2):1-8.
- 张国国民,傅征祥,桂燮泰,等.2001.地震预报引论[M].北京:科学出版社.

Prediction Process of Lulong, Hebei $M_s3.9$ Earthquake on March 11, 2008

MA Jian-ying, WANG Cui-zhi

(Earthquake Administration of Tianjin Municipality, Tianjin 300201, China)

Abstract

We study the $M_s3.9$ Lulong earthquake, which occurred in Hebei Province on March 11, 2008. On February 27, 2008 before the earthquake, based on the occurred precursory anomalies in Tianjin region, Forecasting Center of Tianjin Earthquake Administration made a short-term prediction on the monthly discussion meeting. We summarize the characteristics of precursory anomaly, analysis process, and prediction practice. The results show that strictive strain may be the clew to epicenter of earthquake; The multi-disciplinary synthesis may have a great significance for forecasting the three essential factors of the earthquake in Tianjin and its adjacent area.

Key words: $M_s3.9$ Lulong earthquake; precursory anomaly; analysis; prediction