

付虹, 赵小艳. 2013. 汶川 $M_s 8.0$ 地震前云南地区显著前兆观测异常分析. 地震学报, 35(4): 477-484.
Fu Hong, Zhao Xiaoyan. 2013. Analysis on remarkable precursory anomalies observed in Yunnan area before Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake. *Acta Seismologica Sinica*, 35(4): 477-484.

汶川 $M_s 8.0$ 地震前云南地区显著 前兆观测异常分析^{*}

付 虹^{*} 赵小艳

(中国昆明 650224 云南省地震局)

摘要 汶川 $M_s 8.0$ 地震前云南地区出现了显著的前兆观测异常. 该文从大地震的孕育范围出发分析认为这些地震前兆异常可能与汶川 $M_s 8.0$ 地震有关, 并认识到前兆观测出现的显著极值异常可能是 $M_s \geq 7.0$ 大地震的前兆; 有学者认为大震震源区没有或较少出现前兆观测趋势异常是大地震的共性特征, 汶川 $M_s 8.0$ 地震的前兆观测异常也是相同的; 地震前兆观测异常开始和结束时间是多样的, 前兆异常的分布是复杂的, 因此利用震后总结的共性特征, 在震前对汶川 $M_s 8.0$ 地震作出预测是困难的.

关键词 汶川 $M_s 8.0$ 地震 显著地震前兆异常 共性特征 地震预测

doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2013.04.003 中图分类号: P319 文献标志码: A

Analysis on remarkable precursory anomalies observed in Yunnan area before Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake

Fu Hong^{*} Zhao Xiaoyan

(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, China)

Abstract: Some remarkable anomalies of precursory observation appeared in Yunnan area before Wenchuan earthquake. According to the seismogenic scale, we think these anomalies may have a close relationship with Wenchuan $M_s 8.0$ and realized that remarkable extremum anomalies maybe the precursor of big earthquakes with $M_s \geq 7.0$. Some researcher think it is a common character that no or few precursory anomalies appeared in epicentral area, so did the Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake. The beginning and ending time of anomalies were various, and the distribution of anomalies was complex. So it was difficult to predict the Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake using the common characters summarized after the earthquake.

Key words: Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake; remarkable precursory anomaly; common character; earthquake prediction

* 基金项目 国家重点基础研究项目 973(2008CB425701) 和云南省人民政府“十项重大措施”地震监测预报项目资助.

收稿日期 2012-03-28 收到初稿, 2012-11-14 决定采用修改稿.

† 通讯作者 e-mail: ynfuhong@tom.com

引言

2008年5月12日汶川 $M_s 8.0$ 地震的发生，给人民生命财产带来了巨大的损失。由于震前没有对地震作出预报，对该地震是否有前兆的问题一直是大家关心的焦点。中国地震局在震后经过系统的总结，认为300 km 范围内震前只有3%的前兆出现异常，震后再挖掘也只有6%的异常是客观事实^①，大家普遍认为这是汶川地震没有预报，也没有办法预报的原因。汶川 $M_s 8.0$ 地震前在外围地区的云南境内出现了一批变化幅度较大的显著异常，这些异常与汶川地震是否有关，汶川地震前兆观测异常与其他的大地震是否具有共性，是我们分析总结的重点。对于目前处于经验积累阶段的地震预报来说，寻找到大震前的共性特征对地震预测会更有帮助，如果每个地震都没有相同点，就不可能利用已有经验进行地震预测实践，因此通过对震前观测到的这些显著异常的分析，探讨汶川 $M_s 8.0$ 地震前兆观测异常对认识地震前兆异常无疑会有帮助。

汶川地震后已有部分学者提出了较多的前兆观测异常，如地电阻率的异常与唐山地震前有共性(张学民等, 2009)，流体趋势前兆异常其特征与我国其它大震相似(范雪芳等, 2009)，汶川地震前断层形变异常的基本特征与唐山、丽江和海城地震相似，只是异常量级明显偏小(周硕愚等, 2009)，汶川地震前龙门山断裂带存在断层形变异常(张立成等, 2009)，GPS 所反映的相对运动与应变积累的动态变化能够在一定程度上客观反映汶川 $M_s 8.0$ 地震孕育发生动力背景(江在森等, 2009)，汶川 $M_s 8.0$ 地震前定点形变存在异常(张燕等, 2009)，出现地震 HRT 波地震短临波动(钱复业等, 2009)，四川省境内有15项前兆观测异常，在距震中1000 km 范围内有85项异常，异常是有一定规模的，尽管这些异常的震兆意义尚待进一步调查、研究与确认(车用太等, 2009；陈立德等, 2010)，但这些研究都说明了汶川 $M_s 8.0$ 地震前兆曾经出现过异常变化。本文从汶川 $M_s 8.0$ 地震前云南地区的显著前兆观测异常出发，进一步讨论了大震前兆异常的共性特征和对这些异常的认识。

1 汶川 $M_s 8.0$ 地震前云南地区显著前兆观测异常

1.1 形变观测异常

通海跨断层观测测量场地位于云南曲江断裂上，该断裂1970年曾发生过通海 $M_s 7.8$ 地震。断层呈加速变化后，川滇菱形块体内多有 $M_s \geq 6.0$ 地震发生，1999年后这种现象尤其明显。最有代表性的水准1—2边测值从1995至2003年速率加大后，周边先后多次发生6—7级地震，2004年开始速率更大，变化量达到18.8 mm(图1a)。基线的变化基本上是从2004年开始的，I—I边从2004年6月—2008年5月相对变化量达到21.3 mm(图1b)。水准、基线的变化幅度均是1982年观测以来最大的，该断裂从2004年开始就一直呈张性变化。2008年后该断层的张性变化持续进行，但速率较汶川地震前显著减小。

下关场地位于红河断裂北段，2004年开始水准1—2边出现显著异常，其形态与1995和1996年孟连 $M_s 7.3$ 、丽江 $M_s 7.0$ 地震前类似，2007年8月开始出现转折变化后，2008年5月发生汶川 $M_s 8.0$ 地震(图2a)；基线I—I边从2002年有转折变化，速率加大，2007年

^① 汶川 $M_s 8.0$ 地震总结与反思地震预报工作组. 2009. 2008年汶川 8.0 级地震科学总结与反思报告(地震预报领域).

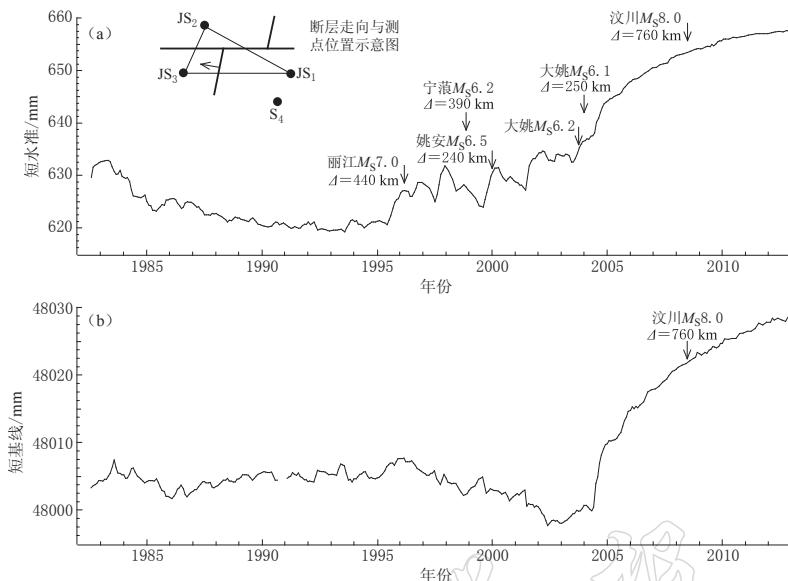


图 1 通海跨断层测量短水准、短基线异常曲线示意图. (a) 水准 1—2 边; (b) 基线 I—II 边
Fig. 1 Sketch map of cross-fault short leveling and short baseline anomalies at Tonghai station.

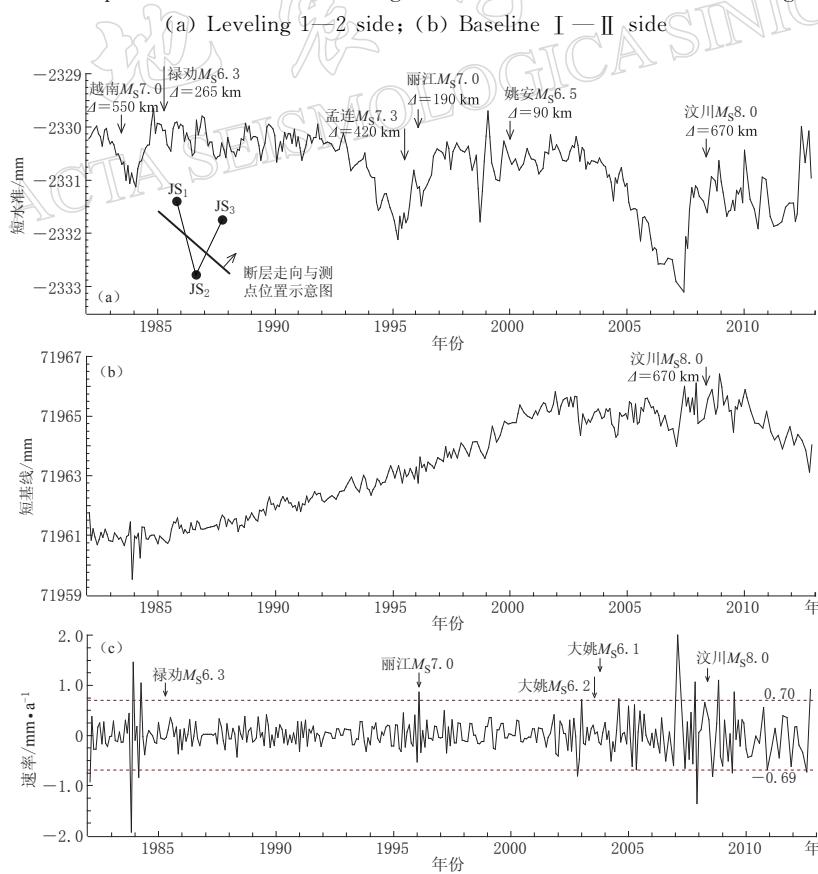


图 2 下关跨断层测量短水准、短基线异常曲线示意图. (a) 水准 1—2 边; (b) 基线 I—II 边; (c) 速率
Fig. 2 Sketch map of cross-fault short leveling and short baseline anomalies at Xiguan station.
(a) Leveling I—II side; (b) Baseline I—II side; (c) Velocity

变化最大，其异常幅度均为观测以来的最大，该断层呈现的是张性变化(图 2b, c)。

永胜场地位于云南程海断裂上，在云南地区多次 $M_s \geq 7.0$ 地震前出现大幅度的加速变化。1994 年水准 1—4 边出现大幅度异常变化后，云南地区先后发生了孟连 $M_s 7.3$ 、武定 $M_s 6.5$ 、丽江 $M_s 7.0$ 和姚安 $M_s 6.5$ 地震，2000 年姚安 $M_s 6.5$ 地震后变化幅度开始减小，2004 年变化速率再次加大(图 3a)；基线Ⅲ—Ⅱ边 1994 年变化速率加大，1996 年丽江地震后速率相对变小，2006 年开始又出现速率加大的现象(图 3b)。该断层 2006 年以来以张性活动为主。

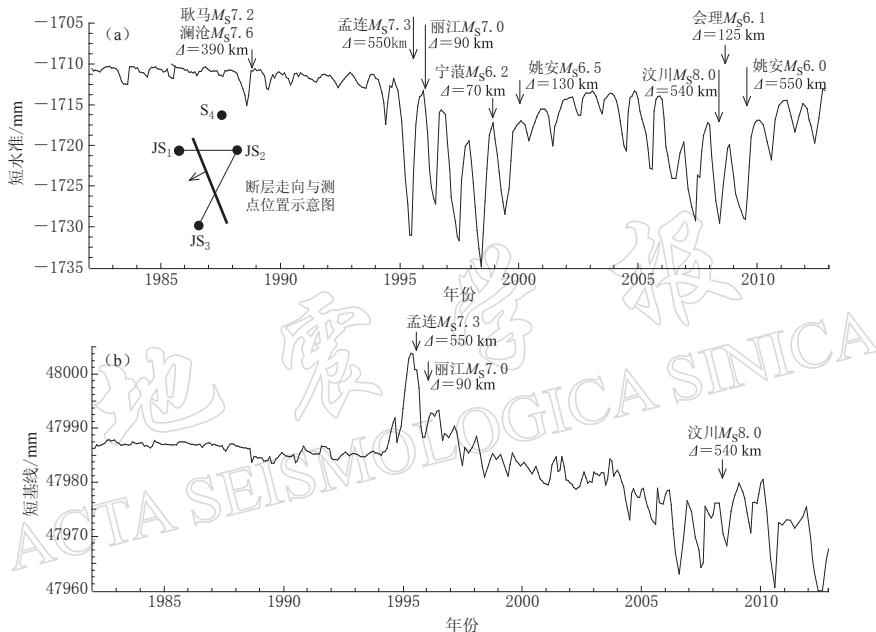


图 3 永胜测点短水准、短基线异常示意图。(a) 水准 1—4 边；(b) 基线Ⅲ—Ⅱ边
Fig. 3 Sketch map of cross-fault short leveling and short baseline at Yongsheng station.

(a) Leveling 1—4 side; (b) Baseline III—II side

楚雄台水管倾斜北南向 2007 年宁洱 $M_s 6.4$ 地震后破坏正常年动态，正常动态应向南倾的时段，转为向北倾，是该仪器 2001 年观测以来的最显著异常变化(图 4)。异常形态和 1988 年澜沧 $M_s 7.6$ 地震前个旧倾斜等异常极为相似。汶川地震后测值回复到正常动态。

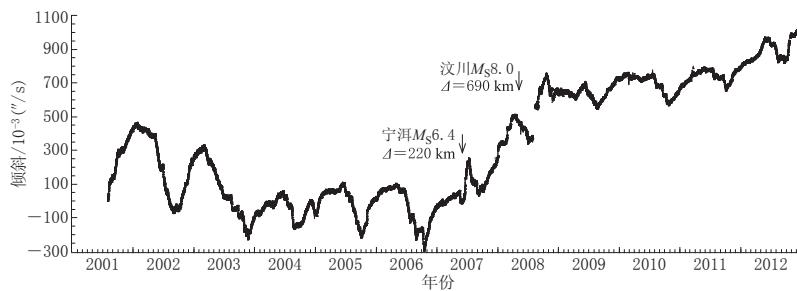


图 4 楚雄水管倾斜北南向整点值曲线

Fig. 4 Hour-value curve of NS-ward tube tilt at Chuxiong station

1.2 流体异常

1) 水位显著异常。昭通水富水位采用模拟观测, 2007 年水位降至观测以来最低值, 12 月 17 日后由于水位降得太低, 导致没有办法继续观测, 震后水位没有回复到正常值, 分析认为有可能是构造活动使得径流通道发生变化, 因此水位再恢复到正常情况的可能性不大; 江川水位 1992 年以来年变动态清晰, 雨季水位上升, 旱季下降, 1994 年水位突升, 其后在下降过程中先后发生了 1995 年孟连 $M_s 7.3$ 、武定 $M_s 6.5$ 和 1996 年丽江 $M_s 7.0$ 地震, 1997 年以来该水位一直保持在一个平稳的状态, 2004 年该水位破年变, 雨季水位没有上升, 2005 至 2006 年出现了观测以来的最低值异常变化, 2007 年后水位再次回复到正常变化动态。通海高大水位, 2007 年开始至 2008 年汶川 $M_s 8.0$ 地震前变化速率增大, 震后速率恢复正常, 但水位测值比震前低(图 5)。

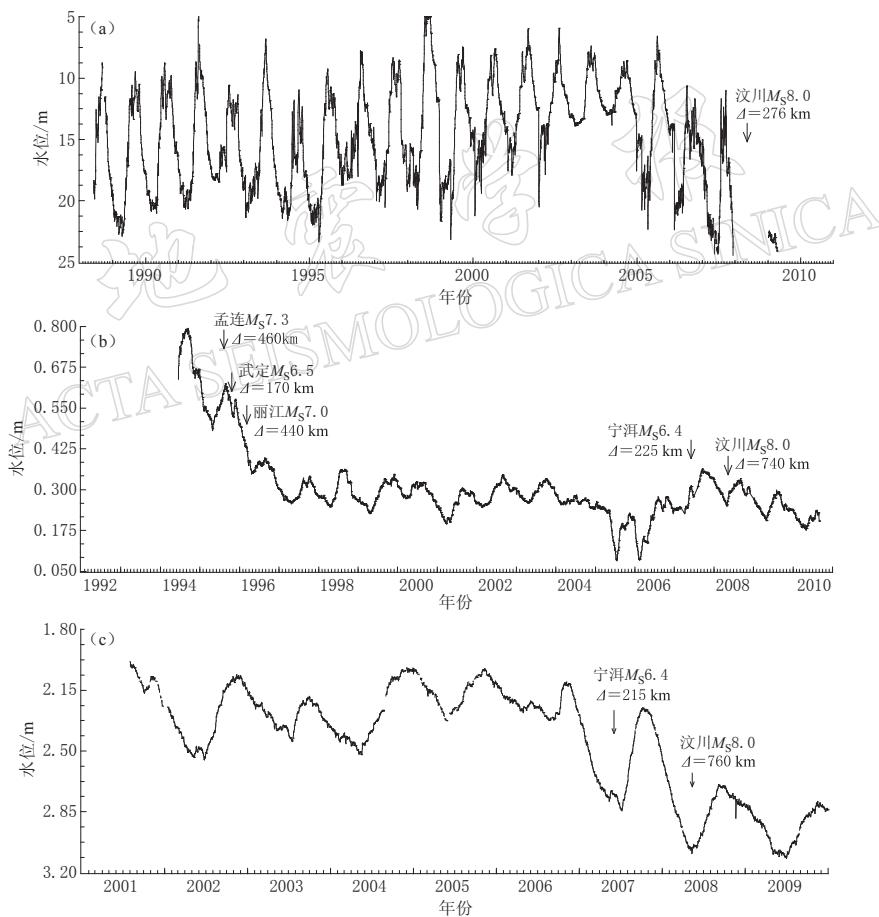


图 5 汶川地震前云南地区水位观测典型异常示意图. (a) 昭通水富; (b) 玉溪江川; (c) 通海高大

Fig. 5 Sketch of typical water level anomalies in Yunnan area before Wenchuan earthquake.

(a) Shuifu in Zhaotong; (b) Jiangchuan in Yuxi; (c) Gaoda in Tonghai

2) 水温典型异常。丽江水温 1999 年开始观测, 在云南地区多次 $M_s \geq 6.0$ 地震前观测到水温的上升异常, 2007 年宁洱 $M_s 6.4$ 地震前出现突变上升, 异常结束于震前。2007 年 9 月 24 日再次出现大幅度上升, 至 2008 年 1 月 10 日上升幅度达 0.068°C , 为观测以来的最大变化, 在转折后的下降过程中发生了汶川 $M_s 8.0$ 地震; 曲靖水温 1998 年开始观测,

2002 年换新探头后测值一直较为稳定, 2007 年 6 月 4 日宁洱 $M_s 6.4$ 地震前加速上升, 震后速率加大, 多次到观测现场都未找到干扰原因, 2007 年 7 月 27 日发生转折变化, 直到汶川地震发生前一直较为平稳(图 6).

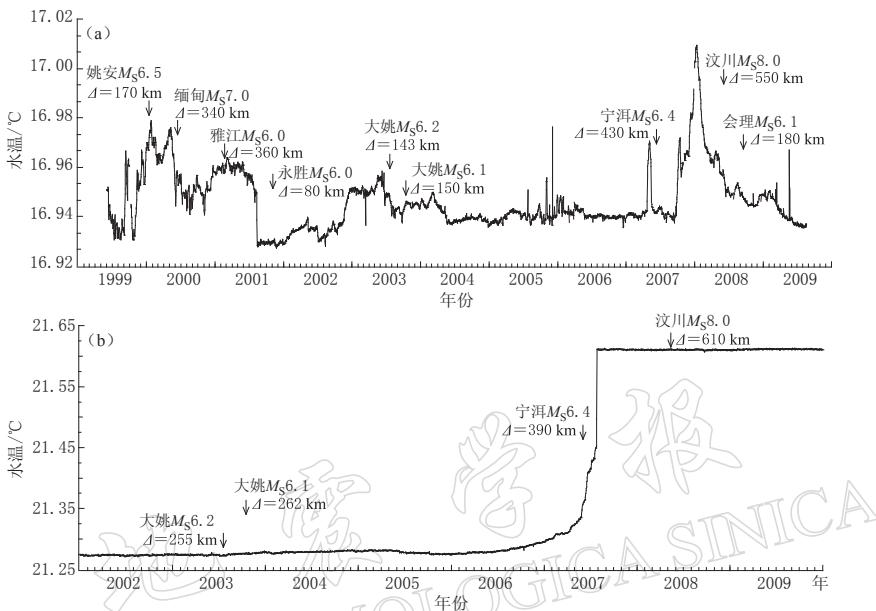


图 6 汶川地震前云南地区水温观测典型异常示意图. (a) 丽江; (b) 曲靖

Fig. 6 Sketch of typical water temperature anomalies in Yunnan area before Wenchuan earthquake. (a) Lijiang; (b) Qujing

1.3 异常的空间分布

前述的显著异常, 均为汶川 $M_s 8.0$ 地震前云南幅度较大并被关注的前兆观测异常, 异常的空间分布的所有异常点都在红河断裂及其以东地区. 可能表明汶川地震前川滇菱形块体内的地壳变形更为显著, 因此前兆观测的异常也集中在这一区域.

2 异常分析

从跨断层短水准、短基线的变化曲线可见, 本文给出的汶川地震前的异常和云南多次 7 级地震前较为相似, 其他的观测曲线因“九五”数字化改造, 资料开始的时间相对较短, 但基本上也都是观测 10 年以来最为显著的变化. 这些异常从时间上分析, 均出现在汶川 $M_s 8.0$ 地震以前, 应该可以说是汶川地震前的“前兆异常”, 但这些异常不是在震源区的, 所以只能说是“场兆”. 按照前苏联索波列夫(1991)给出的应力应变影响最大范围 $R = 10^{0.433M}$ 公式计算, 一次 $M_s 8.0$ 地震的最大影响范围可以达到 2910 km. 昆仑山口西 $M_s 8.1$ 地震最远的前兆异常为 2900 km (陈玉华等, 2009), 从图 1—6 可见, 这些显著异常与汶川 $M_s 8.0$ 地震初始破裂点的距离最远为 740 km, 最近的水富只有 276 km. 也就是说云南所有地域都处于汶川 $M_s 8.0$ 地震的孕震影响范围内. 因此从空间上分析这些异常与汶川 $M_s 8.0$ 地震也是有关联的. 2008 年云南地区也分别发生过 2008 年 8 月 21 日盈江 $M_s 5.9$ 和 2008 年 8 月 30 日川滇交界攀枝花 $M_s 6.1$ 地震, 但云南 2000 年以来先后发生过 2000 年姚安 $M_s 6.5$, 2001 年永胜 $M_s 6.0$, 2003 年大姚 $M_s 6.2$ 和 $M_s 6.1$ 等 $M_s 6.0$ — 6.5 地震, 这

些 6 级地震前均未观测到如此显著的异常变化, 根据多年的实践经验, 笔者一直把出现一定数量的大幅度异常作为 $M_s \geq 7.0$ 地震的判据, 因此这些异常可能与汶川 $M_s 8.0$ 地震关系更为密切.

显著异常出现最早的是通海、下关的短水准、短基线, 从 2004 年开始云南的主要断层的活动速率加大, 经分析这些断层均呈张性变化. 其余的异常开始时间从 2005, 2006 到 2007 年都有, 2007 年相对更为集中, 但到震前有 50% 的异常都出现了转折变化. 这些显著异常与云南多次 7 级地震前的前兆异常有一定的相似性, 均表现为幅度大, 震前有一定比例的趋势异常出现转折变化, 或异常结束(付虹, 1997).

在 2005 年后的《云南省年度地震趋势研究报告》中^{①-③}, 笔者根据这些异常一直强调云南可能进入新一轮强震活跃期, 发生 7 级地震的可能性较大. 这些大幅度的破年变、速率增大等趋势异常, 也是云南地区 7 级地震前的共性特征.

综上所述, 汶川地震前云南地区出现了显著的与本省及邻区多次 7 级地震前较为类似的前兆观测异常.

3 讨论与结论

1) 汶川 $M_s 8.0$ 地震前除云南外在甘肃、陕西等地也观测到了一些显著的前兆异常, 如甘肃武都地电、陕西乾宁倾斜等^④, 说明汶川 $M_s 8.0$ 地震前在外围地区是有幅度较大的显著前兆观测异常的, 出现一定数量的大幅度破年变、速率加大等显著前兆观测异常可能是 7 级以上大震的共性特征.

2) 汶川 $M_s 8.0$ 地震前云南的前兆观测异常在临震前有部分已结束, 如曲靖的水温、下关的水准等. 这与云南地区较多 7 级地震前情况也是一致的, 只是云南地区 7 级地震前兆异常结束一般出现 1—3 个月(中国地震局监测预报司, 2005). 汶川 $M_s 8.0$ 地震前有的异常结束时间更早. 说明异常出现和结束的时间是复杂的, 如果出现异常可以作为有大地震在孕育的标志, 则具体发震时间的判断是困难的.

3) 中国地震局经过反复论证认为汶川 $M_s 8.0$ 地震前, 300 km 范围内震前仅有 3% 的前兆观测异常, 震后再总结也只有 6%^⑤, 汶川 $M_s 8.0$ 地震的发生, 余震分布沿龙门山断裂带长达 300 多千米, 如果把余震区作为震源区, 那么在龙门山断裂带上没有异常, 恰恰表明汶川地震的前兆异常特征与中国大陆其它大震是一致的. 梅世蓉(1995)在总结了唐山 $M_s 7.8$ 地震的前兆异常后提出“坚固体模型”和陈立德(2000)提出“震源硬化模型”的依据之一, 都是震源区在中期阶段没有前兆异常. 按照震源硬化模型的解释, 中期阶段震源介质是缺陷闭合, 刚度增加的硬化阶段, 震源区异常仅在破裂成核短临阶段出现. 这两位学者都是在总结了中国大陆的震例后才得到的认识. 根据这些认识, 龙门山断裂没有显著的前兆趋势异常也是大震的共性特征. 加上四川西部地区前兆台网分布极不合理, 观测点密度较稀, 因此在震中 300 km 周围内地震前兆观测异常少不是汶川 $M_s 8.0$ 地震的特例. 从

^① 云南省地震局. 2007. 云南省 2006 年度地震趋势研究报告.

^② 云南省地震局. 2008. 云南省 2007 年度地震趋势研究报告.

^③ 云南省地震局. 2009. 云南省 2008 年度地震趋势研究报告.

^④ 汶川 $M_s 8.0$ 地震总结与反思地震预报工作组. 2009. 2008 年汶川 8.0 级地震科学总结与反思报告(地震预报领域).

目前我们已取得的观测资料分析，所有的前兆观测异常并不是围绕着震中分布，并随震中距的增大而衰减的，而是在复杂构造的区域中呈现出复杂的分布格局，因此对于破裂尺度大于几百公里的 8 级地震，在震前要根据震中前兆异常很少的特点作预测也是不可能实现的。

4) 汶川 $M_s 8.0$ 地震前，出现的前兆观测异常分布范围较大，且不连续，因此笔者把震前云南的显著异常当作了云南 $M_s \geq 7.0$ 地震的异常进行了预测。只从局部现象看问题，加之 8 级地震的震例太少，认识有限，是在有许多大震异常出现后仍然对 8 级地震判断失败的主要原因之一。可以认为大范围出现显著的极值异常和震源区出现前兆异常平静，可能是大地震的前兆。8 级地震的前兆观测异常需要在大范围从全国的角度去研究，才能得到更全面的认识。但根据这些认识要进行正确的预测也是困难的。因为在多震的中国大陆西部，不同区域出现显著异常对应多次 7 级地震的震例也是存在的。

5) 汶川 $M_s 8.0$ 地震前可能是有前兆观测异常的，且这些异常特征与云南和中国大陆其他的 $M_s \geq 7.0$ 大震异常具有共性。但由于异常的复杂性，加之 8 级地震的震例较少，就震前认识到这些异常的共性特征，要做出预测也是困难的。但我们只有不断的积累这些大地震前异常的共性特征经验，不断认识大震孕育、发生过程才可能不断提高地震的预测水平。汶川 $M_s 8.0$ 地震丰富了我们的经验，增长了见识，是地震界的宝贵财富，值得认真总结和记取。

参 考 文 献

- 车用太, 鱼金子, 刘成龙. 2009. 汶川地震的异常及地震预测问题[J]. 防灾科技学院学报, 11(1): 1-5.
- 陈立德. 2000. 震源硬化模型的理论、实验及观测事实依据[J]. 地震, 20(1): 1-9.
- 陈棋福, 郑大林, 刘桂萍, 李明. 2003. 中国震例(1995—1996), 1995 年 7 月 12 日云南省孟连西 7.3 级地震[M]. 北京: 地震出版社: 97-140.
- 陈玉华, 董治平, 王培玲, 李永强. 2009. 昆仑山口西 8.1 级地震的远场前兆异常特征[J]. 中国地震, 25(1): 62-72.
- 范雪芳, 王吉易, 陆明勇. 2009. 汶川 8.0 级地震前典型流体中期前兆异常的初步研究[J]. 地震, 29(1): 132-140.
- 江在森, 武艳强, 方颖, 李鹏, 王武星. 2009. 汶川 8.0 级地震前区域地壳运动与应变场动态特征[J]. 地球物理学报, 29(1): 68-76.
- 梅世蓉. 1995. 地震前兆场物理模式与前兆时空分布机制研究: 坚固体孕震模式的由来与证据[J]. 地震学报, 17(3): 273-282.
- 钱复业, 赵壁如, 钱卫, 赵健, 何世根, 张洪魁, 李世愚, 李绍坤, 严谷良, 汪成民, 孙振凯, 张东宁, 卢军, 张平, 杨国军, 孙加林, 郭纯生, 唐宇雄, 徐建明, 夏坤涛, 鞠航, 殷邦红, 黎明, 杨东生, 起卫罗, 和泰名, 关华平, 赵玉林. 2009. 汶川 8.0 级地震 HRT 波地震短临波动前兆及 HRT 波地震短临预测方法[J]. 中国科学: D 编, 39(1): 11-23.
- 索波列夫(著). 1991. 张肇诚, 张炜, 曹可珍(译). 2005. 震源物理与地震预报[M]. 北京: 地震出版社: 81.
- 张立成, 余敏, 孙东颖. 2009. 汶川 $M_s 8.0$ 级强震震前龙门山断裂带断层形变异常分析[J]. 华北地震科学, 27(1): 34-38.
- 张学民, 李美, 关华平. 2009. 汶川 8.0 级地震前的地电阻率异常分析[J]. 地震, 29(1): 108-115.
- 张燕, 吴云, 吕品姬. 2009. 汶川 8.0 级地震前定点形变异常特征[J]. 地震学报, 31(2): 153-159.
- 中国地震局监测预报司. 2005. 西南地区强地震短期前兆特征和预测方法[M]. 北京: 地震出版社: 124-126.
- 周硕愚, 吴云, 施顺英, 陈志遥. 2009. 汶川 8.0 级地震前断层形变异常及与其它大震的比较[J]. 地震学报, 31(2): 140-151.