

2016 年青海门源 6.4 级地震前青海定点形变异常*

马 震, 苏维刚

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

摘要: 利用青海地区定点形变观测数据, 分析了 2016 年 1 月 21 日青海门源 6.4 级地震前的前兆异常现象, 并讨论了异常的信度。结果表明, 门源地震前青海地区部分倾斜和应变观测数据出现了较为可靠的中短期地震前兆异常变化, 异常出现时间在震前 5 个月至 1 年, 主要表现为破年变和趋势转折类异常。

关键词: 门源地震; 倾斜; 钻孔应变; 形变异常

中图分类号: P315.725

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2016)增刊 1-0112-05

0 引言

2016 年 1 月 21 日青海省门源县 (37.68°N, 101.62°E) 发生 6.4 级地震, 震源深度 10 km (郭安宁等, 2016)。此次地震是继 2010 年 4 月 14 日青海玉树 7.1、6.3 级地震后青海地区发生的首次 6 级以上地震。门源 6.4 级地震打破了祁连地震带自 2003 年 10 月 25 日民乐—山丹 6.1 级地震后该区域长达 12 年的 6 级地震平静。

青海地区分布有多个定点形变观测台站, 距离震中最近的为门源地震台 (约 30 km), 震中 150 km 范围内还分布有湟源和乐都 2 个形变台站。另外, 同仁、德令哈、格尔木和玉树 4 个台站分别距震中约 240 km、370 km、610 km 和 660 km。青海地区各台站均使用分钟值采样的数字化形变观测仪器, 仪器包括水平摆倾斜、垂直摆倾斜、钻孔倾斜、水管倾斜、洞体应变和分量钻孔应变等。受环境干扰和仪器故障等因素影响, 德令哈台、同仁台形变数据, 乐都台和玉树台倾斜数据可靠性差, 无研究价值, 本文中不做研究。其它观测数据基本可靠, 具备分析地震前兆异常现象的条件。

随着数字化定点形变资料的不断积累和深入研究, 定点形变观测仪器记录到了一些较为可靠的地震前兆异常现象, 包括了趋势性异常、中短期异常和短临异常等不同时间尺度的地震前兆异常 (高丽娟等, 2014; 潘振生等, 2014; 王赞辉, 2015; 史小平等, 2015)。门源地震震中附近的重力场变化和跨断层水准异常研究结果显示, 地震

前震中及其附近区域存在显著的重力场异常和跨断层短水准异常 (郭树松等, 2016; 张希等, 2016)。本文研究了 2016 年青海门源 6.4 级地震前, 青海省定点形变观测数据出现的前兆异常, 并讨论了异常信度。

1 形变异常及特征

本文对在门源地震前青海地区相对可靠的定点形变观测资料出现的异常现象做了分析研究, 结果显示, 门源、格尔木、湟源 3 个台站的定点形变观测数据在震前出现了较为可靠的地震前兆异常变化 (图 1)。

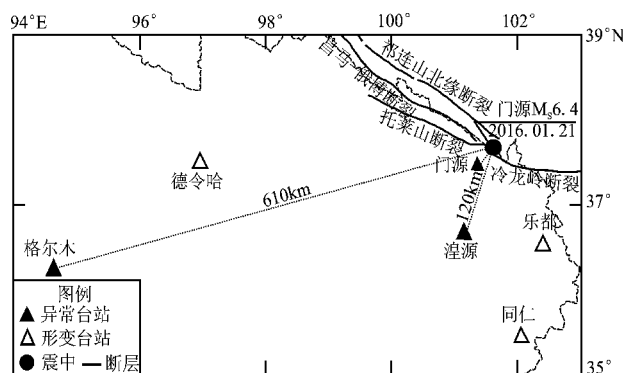


图 1 断裂、形变台站和地震空间分布图

Fig. 1 Distribution map of faults, deformation stations and earthquakes

1.1 门源台

门源地震台是距地震最近的定点形变台站,

* 收稿日期: 2016-08-23.

基金项目: 青海省地震科学基金项目“钻孔应变观测资料变化特征研究”(2015A02) 资助。

震中距约 30 km。该台有水平摆倾斜仪、垂直摆倾斜仪和分量钻孔应变仪 3 套形变观测仪器。台站观测环境较好, 周边无明显环境干扰。

水平摆倾斜和垂直摆倾斜在震前 5 个月左右出现了同步异常变化。2015 年 8 月 18 日 2 套倾斜观测共 4 个测向均出现了转折异常, 8 月 27 日前后再次转折, 异常于 9 月中旬左右结束, 恢复至原变化趋势 (图 2~3)。该变化出现时, 台站周边无干扰, 仪器工作正常。异常持续时间 25 d 左右, 异常结束 4 个月后发生了门源 6.4 级地震。地震发生时, 2 套倾斜资料出现了较显著的同震阶变, 垂直摆倾斜仪器因此次地震影响而损坏。

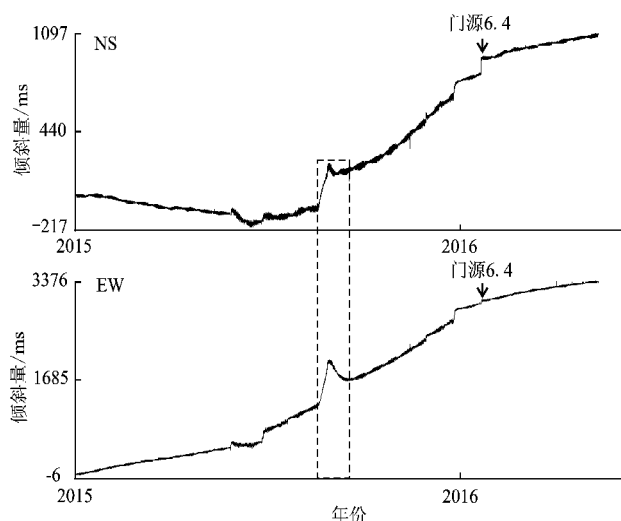


图 2 门源台水平摆倾斜资料整时值数据

Fig. 2 The hour average value of horizontal pendulum tilt recorded by Menyuan Station

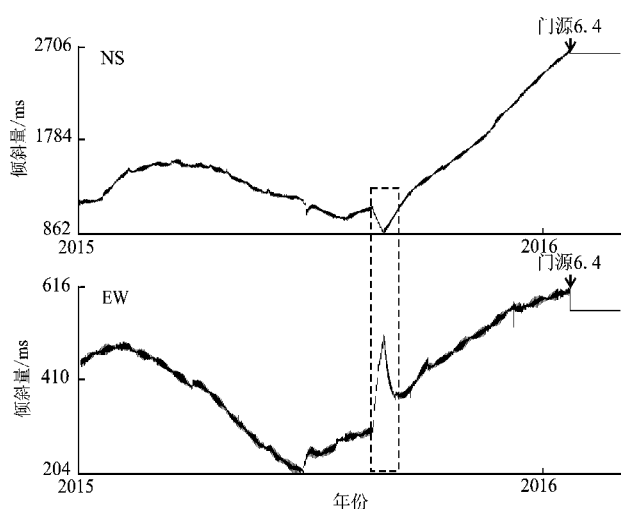


图 3 门源台垂直摆倾斜资料整时值数据

Fig. 3 The hour average value of vertical pendulum tilt recorded by Menyuan Station

分量钻孔应变第 1 分量自 2015 年 8 月 20 日后出现趋势加速异常变化, 该异常于 9 月中旬开始回返, 至 10 月底恢复至以往变化趋势 (图 4)。门源钻孔应变第 1 分量方位为北偏东 7° , 地震震中恰好位于门源地震台北偏东方向。本次异常是该资料自 2013 年以来首次异常变化, 异常信度较高。该资料曾在 2008 年 11 月 10 日青海海西 6.3 级地震前出现较可靠的短期前兆异常 (马震, 张晓清, 2014)。

门源地震台 3 套定点形变观测仪器在门源地震前 5 个月出现了同步异常变化, 异常均为趋势转折类型, 持续时间基本一致。根据地震前兆异常的 3 个判据 (邱泽华, 2010) 分析, 异常出现前各项资料变化均较为稳定, 异常出现时无干扰, 台站距震中仅有 30 km, 地震时各测项记录到显著的同震阶变。因此, 门源倾斜和钻孔应变资料 2015 年 8~9 月出现的同步变化是门源地震前的短期地震前兆异常。

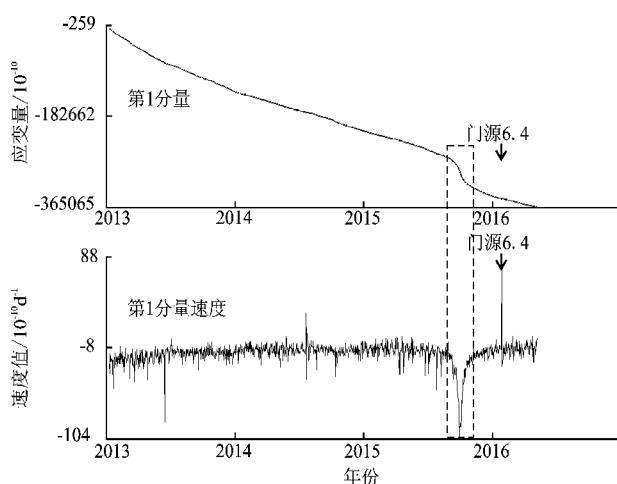


图 4 门源台钻孔应变第 1 分量整时值数据及速度值

Fig. 4 The hour average value and speed value of the first component of borehole strain recorded by Menyuan Station

1.2 格尔木台

格尔木地震台距离门源地震震中约 610 km, 有水平摆倾斜、分量钻孔应变和重力 3 套形变观测仪器。台站位于格尔木市以南的戈壁滩, 周边无人活动, 无明显环境干扰因素, 观测资料可靠性较高 (马震等, 2011)。钻孔应变资料在 2008 年青海海西 6.3 级地震前出现了前兆异常, 而且差应变异常更为突出 (马震, 张晓清, 2014)。

格尔木水平摆倾斜东西分量自观测以来存在较稳定的年变特征,从 2011 年以来的年变对比发现,2015 年上半年该资料年变幅度明显小于往年,出现了破年变异常(图 5)。从长趋势变化分析,东西分量在 2015 年年初后存在趋势转折异常(图 6)。2008 年青海海西 6.3 级地震前该资料年变幅度明显偏大,但当时该资料积累不足 2 年,未发现该项异常,目前看来,该资料在海西 6.3 级地震前存在破年变前兆异常。

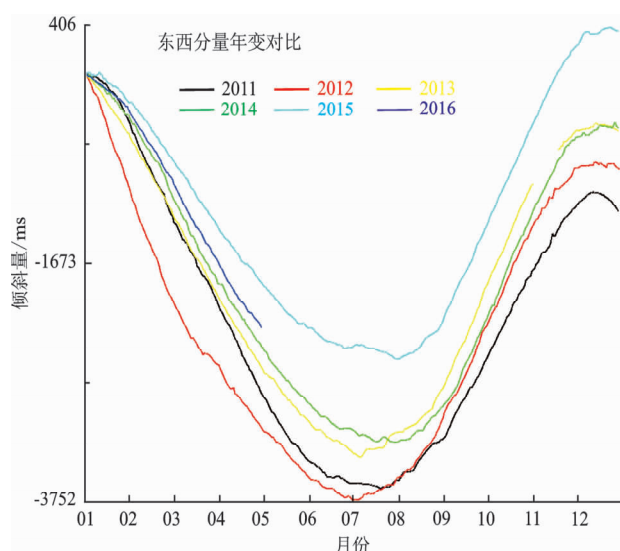


图 5 格尔木倾斜东西分量日均值年变对比

Fig. 5 The daily mean value annual variation contrast of east - west tilt recorded by Golmud Station

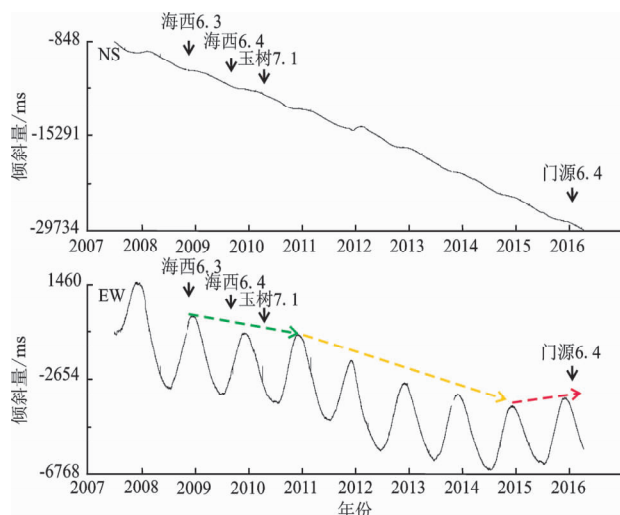


图 6 格尔木倾斜整时值数据

Fig. 6 The hour average value of tilt recorded by Golmud Station

格尔木分量钻孔应变资料 2011 年以来呈较为稳定的变化状态,其中,第 2、3 分量存在年变特征。使用格尔木分量钻孔应变整时值数据计算得到的 1-3 和 2-4 差应变显示,1-3 差应变在 2011~2014 年呈平稳下降趋势且存在年变特征,2015 年开始这 2 项差应变均出现显著的趋势转折异常变化(图 7)。其中,1-3 差应变于 2015 年下半年开始出现明显的破年变异常。该异常的开始时间和异常特征与格尔木倾斜异常一致。钻孔应变原始数据异常并不突出,差应变计算结果中异常明显,该现象与 2008 年海西 6.3 级地震前异常特征相似。

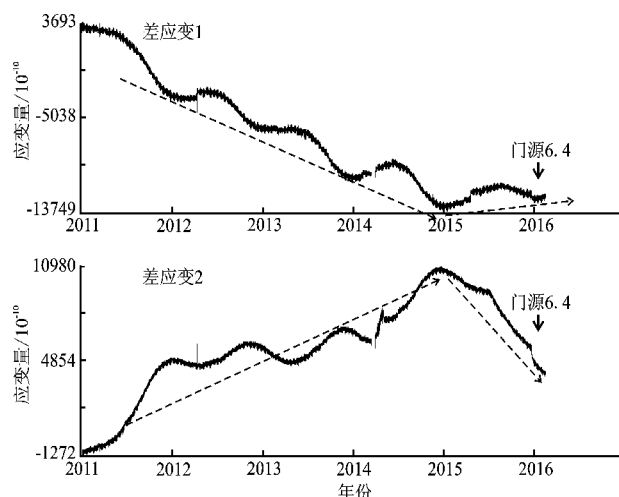


图 7 格尔木钻孔应变差应变数据

Fig. 7 The differential strain of borehole strain recorded by Golmud Station

格尔木倾斜和钻孔应变资料在门源地震前一年均出现了趋势转折异常变化,异常时间基本同步,异常形态较为类似,异常出现期间无环境干扰,观测资料长期稳定可靠,钻孔应变资料有较好的异常震例。倾斜资料异常出现在东西分量,与门源地震的方位一致。格尔木倾斜和钻孔应变资料从 2015 年开始的趋势转折异常可能显示了青海北部地区的应力场变化,经分析认为,该趋势转折异常为门源地震前的中短期地震前兆异常。

1.3 湟源台

湟源地震台距离门源地震震中约 120 km,架设 有 钻 孔 倾 斜 和 分 量 钻 孔 应 变 观 测 仪 器 各 1 套。钻 孔 应 变 资 料 在 门 源 地 震 前 后 无 明 显 变 化。北 南 向 钻 孔 倾 斜 于 2015 年 11 月 后 出 现 较 为 显 著 的 转 折 变 化,该 变 化 持 续 北 倾 至 门 源 6.4 级 地 震 后 开 始 回 返 (图 8)。

分析倾斜观测资料历史数据发现，自 2012 年以来，该资料曾出现 4 次大幅度的短期变化，这些变化后均无对应的地震发生。湟源钻孔倾斜资料可靠性偏低（开始观测以来经多次维修，近两年观测资料趋于稳定），无异常震例。本次异常变化与门源地震发震时间较为吻合，而且北南向资料异常较为突出，与震中方位一致，地震后异常出现回返。因此，该变化可能是门源地震前的短临前兆异常。

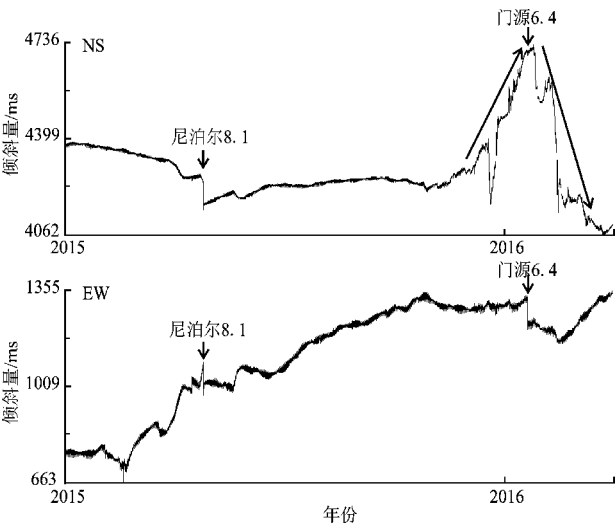


图 8 湟源台倾斜整时值数据
Fig. 8 The hour average value of tilt recorded by Huangyuan Station

2 异常信度及前兆异常特征

近几年，格尔木倾斜、钻孔应变和门源钻孔应变资料具有稳定变化动态，本次异常变化为各

测项自 2011 年以来最为显著的异常变化。2008 年青海海西 6.3 级地震前以上 3 项资料均有较为可靠的地震前兆异常。门源水平摆倾斜和垂直摆倾斜观测时间相对较短，其中，垂直摆倾斜自 2013 年年中开始观测，以往观测资料曾出现多次较显著的人为干扰，2015 年以来这 2 项资料可靠性较好，无异常震例。格尔木和门源 2 个台站的各项形变异常均存在时间同步和形态类似的特征，而且异常一般出现在指向门源地震的分量。因此，格尔木水平摆倾斜、钻孔应变和门源水平摆倾斜、垂直摆倾斜、钻孔应变 5 项异常信度较高。

湟源台仅有钻孔倾斜出现异常，钻孔应变资料无异常变化。钻孔倾斜自 2007 年开始观测以来，资料可靠性偏低，2012 年以来出现了多次短期大幅异常变化，均无地震对应。本次异常变化持续时间较长，异常出现在指向门源地震的北南分量，地震后异常开始回返。因此，本次湟源钻孔倾斜异常变化是地震前兆异常的可能性较大。

门源地震前青海地区 6 项形变前兆异常具有以下特征：震前同一台站不同观测手段出现的异常时间同步，形态类似；地震前兆异常一般出现于指向震中的分量；震中距越远的异常持续时间越长，反之越短；异常开始时间为震前 5 个月至 1 年（表 1）。

前兆观测资料受到多方面因素影响，准确判断与地震相关的前兆异常变化非常困难，目前阶段很难对各类地震前兆异常给出合理的物理机理解释，对绝大多数地震前兆异常我们只能做出定性的判断。准确掌握地震前兆异常的物理机理一直是地震前兆研究的目标，若是这方面研究得到突破，地震临震预报的实现也将指日可待。

表 1 门源地震前青海地区定点形变前兆异常汇总
Tab. 1 Summary of precursory anomalies of fixed deformation data in Qinghai area before Menyuan earthquake

台站	测项	震中距/ km	异常开始时间/ 年-月-日	异常结束时间/ 年-月-日	异常性质	异常特征描述	异常信度
门源	水平摆倾斜	30	2015-08-18	2015-09-15	短期	趋势转折	A
	垂直摆倾斜		2015-08-18	2015-09-15	短期	趋势转折	A
	钻孔应变		2015-08-20	2015-09-15	短期	趋势转折	A
格尔木	水平摆倾斜	610	2015-01		中短期	破年变	A
	钻孔应变		2015-01		中短期	破年变	A
湟源	钻孔倾斜	120	2015-11-01	2016-02-15	短期	趋势转折	B

注：A 信度较高；B 信度中等。

3 结论

通过分析青海地区定点形变资料发现,门源地震前青海地区共有3个形变台站、6个测项出现了相对可靠的地震前兆异常。出现前兆异常的台站中,最近的距离震中约30 km,最远的距离震中约610 km。异常开始时间为震前5个月至1年,异常持续时间最短的仅25天左右。格尔木台出现的前兆异常为中短期趋势转折和破年变异常,门源台和湟源台出现的前兆异常为短期趋势转折异常。本次地震前较为可靠的异常集中在门源和格尔木2个台站,而且同一台站各测项的异常时间同步,形态相似,各异常测项中出现异常的分量方位与震中方位基本一致。

参考文献:

- 高丽娟,邢喜民,高歌等. 2014. 2014年2月12日于田 $M_s7.3$ 地震前形变异常[J]. 中国地震,30(2):226-232.
- 郭安宁,李鑫,白雪见等. 2016. 2016年1月21日青海门源6.4级地震及相关参数[J]. 地震工程报,38(1):150-158.
- 郭树松,祝意青,赵云峰. 2016. 青海门源 $M_6.4$ 地震前重力场变化特征及其动力机制分析[J]. 大地测量与地球动力学,36(4):294-307.
- 马震,张晓清,马玉虎. 2011. 青海省钻孔应变资料典型干扰特征分析[J]. 高原地震,23(1):53-58.
- 马震,张晓清. 2014. 强震前钻孔应变异常变化分析[J]. 地震研究,37(增刊1):88-92.
- 潘振生,徐衍刚,张锦萍. 2014. 哈萨克斯坦 $M_s6.1$ 地震前新疆形变异常[J]. 地震地磁观测与研究,35(3):198-203.
- 邱泽华. 2010. 关于地震前兆的判据问题[J]. 大地测量与地球动力学,30(增刊2):1-5.
- 史小平,王小娟,刘洪斌. 2015. 景泰 $M_s4.7$ 地震前的定点形变异常[J]. 震灾防御技术,10(4):942-950.
- 王赞辉. 2015. 宁蒗5.7级地震前数字化形变观测短临异常识别与分析方法研究[J]. 国际地震动态,37(10):18-22.
- 张希,贾鹏,唐红涛等. 2016. 门源6.4级地震前跨断层水准前兆性指标异常与震后变化[J]. 大地测量与地球动力学,36(4):283-287.

Precursory Anomalies of Fixed Point Deformation before Qinghai Menyuan $M_s6.4$ Earthquake in 2016

MA Zhen, SU Weigang

(Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China)

Abstract

Based on the deformation observation data of fixed points in Qinghai area, we analyze the precursor anomalies of digital deformation and the anomalies reliability before Menyuan $M_s6.4$ earthquake on Jan. 21, 2016. The results showed that there existed medium - short - term anomalies with high reliability in part of tilt and strain observation data in Qinghai area before the earthquake. The precursor anomalies mainly presented broken annual variation and tendency change in 5 months to 1 year before earthquake.

Key words: Menyuan $M_s6.4$ earthquake; tilt; borehole strain; deformation anomalies