

2016 年青海门源 M_s 6.4 地震前地下流体 异常特征分析*

杨晓霞, 王小玲, 李玉丽, 孙春玲, 孙 丽

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

摘要: 2016 年 1 月 21 日青海省门源县发生 M_s 6.4 地震, 震前青海地区地下流体观测点出现了前兆异常。通过分析, 总结出异常类型大致有 2 种: (1) 波动异常, 主要表现为速率变化; (2) 年变畸变异常, 主要表现为打破年变规律。此次地震前中短期异常的出现时间与震中距不成比例。

关键词: 门源 M_s 6.4 地震; 地下流体; 前兆异常

中图分类号: P315.723

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2016)增刊 1-0089-06

0 引言

据中国地震台网测定, 2016 年 1 月 21 日 1 时 13 分 37.65 秒, 青海省海北藏族自治州门源回族自治县 (37.68°N , 101.62°E) 发生 M_s 6.4 地震, 震源深度 10 km。据统计, 截至 2016 年 1 月 25 日 14 时 24 分 30 秒, 共发生 888 次余震, 地震造成了人员受伤和重大财产损失 (胡朝忠等, 2016)。

通过震前的震情跟踪与异常分析, 尤其是通过震后的科学总结和反思, 确认了一些可信度较高的流体异常 (张新基等, 2005; 朱成英等, 2006)。本文整理了门源 M_s 6.4 地震前青海省内台站记录的地下流体异常, 并进行了初步的分析, 此次地震前地下流体异常具有时间短、异常项次少、异常范围小的特征。

1 青海省地下流体资料概况

青海省有 16 个地下流体观测点, 共 4 个测项, 分别为水位、水温、水氦、气氦。截至 2016 年 6 月 30 日, 正常运行的仪器有 32 套。本文选择了地质构造条件好、资料连续可靠、动态稳定的 21 个台项观测资料作为主要研究对象, 其中门源地震前发现并跟踪的异常和震后确认的较为可靠的地下流体异常共有 4 项 (表 1)。按异常

表 1 门源地震地下流体观测点基本情况及异常

Tab. 1 The basic situation and anomaly of underground fluid observation point of Menyuan M_s 6.4 earthquake

类别	台项	位置		异常开始时 间/年-月	异常开始至 发震时间	震中距 /km
		$\varphi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$			
水 氦	格尔木	36.41	97.70			
	贵德	36.03	101.45			
	湟源	36.65	101.18	2016-01	12 天	123
	民和	36.32	102.80			
气 氦	格尔木	36.41	97.70			
	乐都	36.55	102.38	2015-12	1 月	137
	湟源	36.65	101.18			
水 位	玉树	33.01	97.02			
	平安	36.30	102.60	2015-09	4 月	128
	德令哈	37.37	97.37			
	共和	36.30	100.60			
	西宁	36.62	101.72			
	德令哈	37.38	97.39			
水 温	玉树	33.01	97.02	2015-10	3 月	620
	湟源	36.65	101.18			
	大武	34.48	100.25			
	同仁	35.52	102.01			
	互助	36.92	101.64			
	都兰	36.29	98.09			
	门源	37.47	101.40			
	共和	36.30	100.60			

* 收稿日期: 2016-08-23.

基金项目: 青海省地震科学基金课题 (2015A03) 资助.

出现的时间统计,这4项异常均为中短期异常,异常点的震中距最远620 km(玉树水温),最近为123 km(湟源水氡)。

2 震前地下流体变化特征

2.1 玉树水温

玉树井位于青海省玉树县结古镇团结村,井深105 m,井内套管下置深度100 m,水温观测仪器为SZW-1A型数字式温度计,传感器放置深度为100 m,此处为中生代侏罗纪花岗岩。玉树水温为“十五”数字化前兆资料,自2007年8月5日数据开始正常入库以来,至2016年6月30日,数据完整率较差;2009年2~4月、2012年3月~2013年11月,因仪器故障,数据缺失较多。

自观测以来,玉树井水温动态呈上升趋势,先后出现6次大幅度的突变异常。经分析,前6次的突变异常表明:2007年10月的突变跟仪器安装初期处于仪器平衡过程有关(何案华等,2012);2008年3月15~27日出现的突降跟2008年汶川 $M_s8.0$ 地震有关;2009年11月12~30日出现的突降跟2009年德令哈 $M_s5.0$ 地震有关;2010年1月19日~2月2日出现的突降跟2010年玉树 $M_s7.1$ 地震有关(陈玉华等,2010);2015年3月13~20日出现的突升跟2014年尼泊尔 $M_s8.1$ 地震有关(杨晓霞等,2016);2015年10月7日~11月17日出现的V字型变化跟门源 $M_s6.4$ 地震有关(图1)。进一步分析这5次地震前的异常形态,发现前3次异常形态特征具有高度相似性,对这种相似性进行定量计算,用下式求得相关系数

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - A^1)(B_{mn} - B^1)}{\sqrt{\sum_m \sum_n (A_{mn} - A^1)^2 (\sum_m \sum_n (B_{mn} - B^1)^2)}} \quad (1)$$

表2 玉树井水温异常统计

Tab. 2 The statistic of water temperature anomaly recorded by Yushu well

序号	异常起始时间/ 年-月-日	异常结束时间/ 年-月-日	异常 形态	异常幅度/ ℃	异常持续 时间/d	井震距/ km	对应地震
1	2008-03-15	2008-03-27	突降	0.022	12	643	2008-05-12 汶川 $M_s8.0$ 地震
2	2009-11-12	2009-11-30	突降	0.017	18	508	2009-12-21 青海德令哈 $M_s5.0$ 地震
3	2010-01-19	2010-02-02	突降	0.029	14	46	2010-04-14 青海玉树 $M_s7.1$ 地震
4	2015-03-13	2015-03-20	突升	0.021	17	1294	2015-04-25 尼泊尔 $M_s8.1$ 地震
5	2015-10-07	2015-11-17	V字型	0.016	41	620	2016-01-21 门源 $M_s6.4$ 地震

其中, A 、 B 分别表示为2个矩阵(即代表两条曲线数据序列); A^1 、 B^1 分别为两矩阵的均值。计算结果表明:图2中 a 异常与 b 异常相关系数为0.99, a 异常与 c 异常相关系数为0.96, b 异常与 c 异常相关系数为0.98。由此可见,前3次水温异常形态特征具有高度的相似性,异常形态均表现为突降型,异常幅度有一定差异(表2),尼泊尔地震前的水温异常形态表现为突升型(杨晓霞等,2016),门源地震前水温异常形态呈现V字型变化特征,与前4次的异常形态不同,且异常持续时间也比较长。

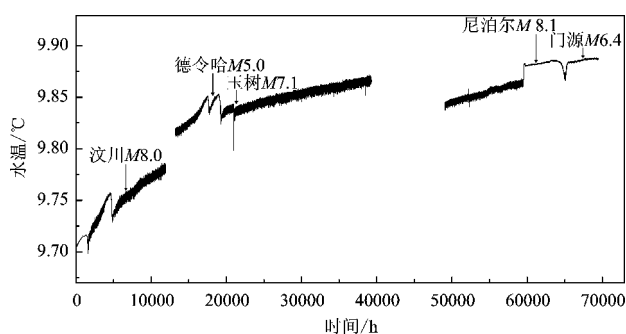


图1 2007年8月5日~2016年6月30日
青海玉树地震台水温变化

Fig. 1 The water temperature variation curve recorded by Qinghai Yushu Seismic Station from Aug. 5, 2007 to Jul. 30, 2016

2.2 平安静水位

平安地震台所在的平安县地处青海省东部,是青海省海东地区海东行署所在地,隶属于青海省海东地区地震局,位于达坂山与拉脊山夹持的山间盆地内,地质构造上隶属祁连构造带。

平安静水位仪架设在台站院内。观测井深108 m,观测仪器为SWY-II型水位仪,传感器放置深度为27.92 m,井内水面距井口约22.38 m。

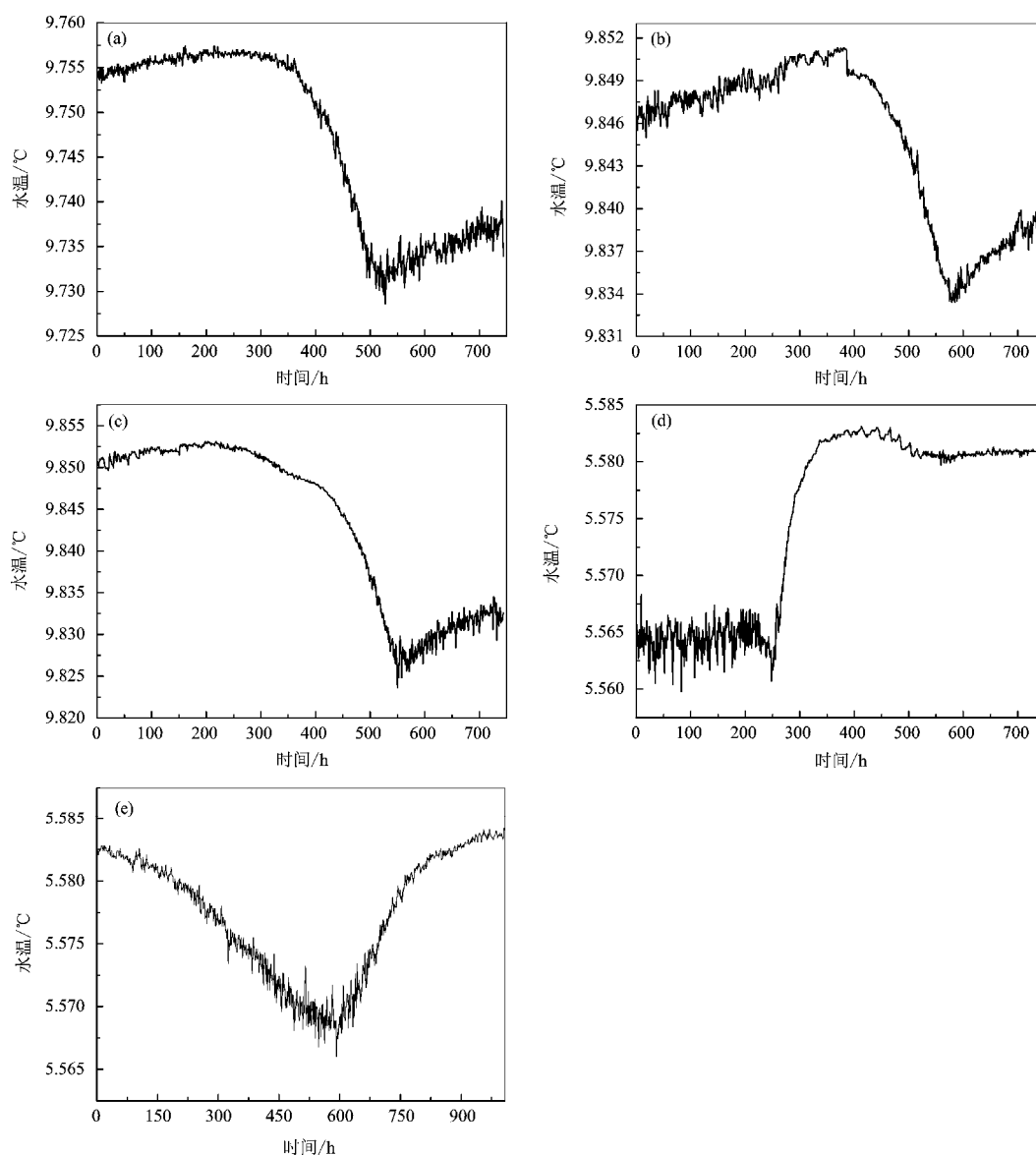


图 2 地震前玉树井水温异常形态对比

(a) 汶川地震前 (2008-03-06 ~ 04-05); (b) 德令哈地震前 (2009-11-06 ~ 12-06); (c) 玉树地震前 (2010-01-11 ~ 02-10); (d) 尼泊尔地震前 (2015-03-03 ~ 04-02); (e) 门源地震前 (2015-10-07 ~ 11-17)

Fig. 2 The comparison of abnormal shape recorded by Yushu well before earthquake

(a) before Wenchuan earthquake (2008-03-06 ~ 04-05); (b) before Delingha earthquake (2009-11-06 ~ 12-06); (c) before Yushu earthquake (2010-01-11 ~ 02-10); (d) before Nepal earthquake (2015-03-03 ~ 04-02); (e) before Menyuan earthquake (2015-10-07 ~ 11-17)

该井自 2014 年 6 月开始观测, 同年 7 月后资料趋于稳定, 数据资料连续, 年变比较清晰 (图 3b)。

该井水位具有明显夏高冬低的年变特征, 每年的 10 月至次年的 1 月为水位低值区间, 3 ~ 7 月为水位的高值区间, 年变幅度为 40 cm。2015 年 9 月 23 日平安静水位打破原来下降趋势, 转为上升变化, 2015 年 10 月 25 日 ~ 12 月 7 日出现了快速下降, 2015 年 12 月 8 日 ~ 2016 年 1 月 20 日继续

缓慢上升。为了进一步研究异常的可靠性, 对比分析降雨与水位变化之间关系 (图 3), 结果表明, 平安静水位破年变与降雨因素无关, 2016 年 1 月 21 日发生门源 $M_s 6.4$ 地震, 震中距 128 km。震后静水位测值出现转折下降, 对比 2015 年 5 月 6 日 ~ 2016 年 3 月 6 日 (虚线) 跟 2014 年 7 月 1 日 ~ 2015 年 4 月 30 日 (实线) 的数据, 目前平安静水位恢复正常的年变形态 (图 4)。

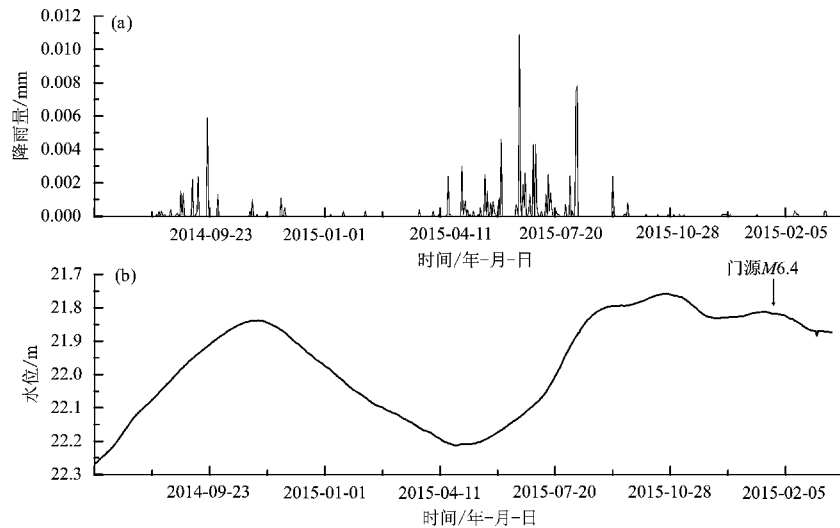


图3 平安地震台降雨 (a) 与静水位日均值曲线 (b)

Fig. 3 The rainfall (a) and daily mean curve of static water level (b) in Pingan Seismic Station

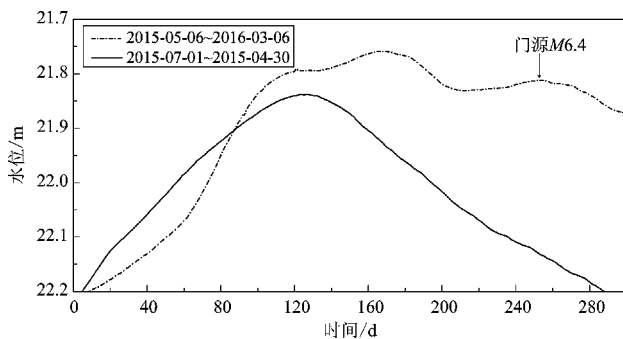


图4 平安静水位年变对比

Fig. 4 The comparison of annual variation of static water levee in Pingan well

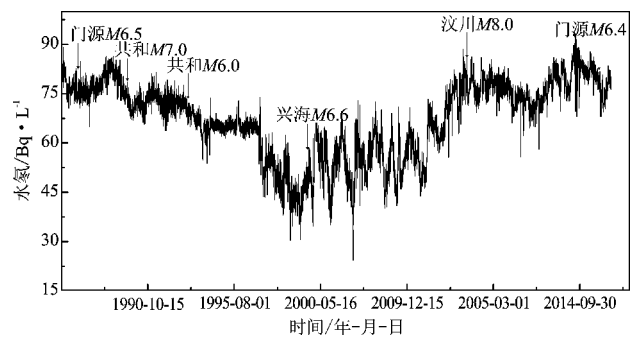


图5 湟源水氡日均值曲线

Fig. 5 The daily mean curve of water radon recorded by Huangyuan Station

2.3 湟源水氡

湟源水氡观测项目于1982年5月投入观测,观测仪器为FD-105K静电计。1997年11月一期改造升级为FD-125氡钍分析仪。观测泉点位于湟源县波航乡泉湾村,水点属断层裂隙上升泉,地处日月山断裂带和拉脊山断裂带的交汇复合处的北缘地段,其水氡含量为73 Bq/L左右(哈辉,2005)。

1990年共和7.0级地震前湟源水氡出现长趋势异常(万存绪等,2001),湟源水氡对1986年门源6.5级地震、1994年共和6.0级地震、5.7级余震、2000年的兴海6.6级地震等有一定异常变化,为多次地震预测预报提供依据(杜娟等,2012;张敏,2002)。对湟源水氡日均值进行分析发现,2016年1月9~13日湟源水氡出现了快速下降,下降幅度为7.3 Bq/L,之后

转平,2016年1月21日发生门源 $M_s6.4$ 地震,震后测值出现转折上升变化,目前数据恢复正常的变化形态(图5)。

2.4 乐都气氡

乐都地震台水点位于台站东北部约1.5 km处,水点属断层裂隙上升泉,地处达坂山、拉脊山交汇处的加里东期花岗岩长岩NE向小断裂带上,三面是中高山区,南与乐都盆地相邻,海拔2200 m。乐都气氡为“十五”数字化前兆资料,2007年7月开始观测,8月后资料趋于稳定。2007年7月~2013年9月乐都气氡没有年变现象,断记也比较严重,一直持续到2014年1月,气氡测值才开始稳定,年变比较清晰,分析认为乐都气氡跟气温有很好的相关性。2015年12月16~22日,乐都气氡出现了快速上升,打破原来的缓慢上升变化趋势,上升幅度为96.7 Bq/L,

之后开始转折下降, 直至 12 月 27 日; 2015 年 12 月 27 日 ~ 2016 年 1 月 9 日气氡值又开始上升, 之后一直保持高值。为了进一步研究该异常的可靠性, 对周边及观测室进行环境调查, 仪器观测系统检查, 地下、地表水开采及降水调查。初步判定此次乐都气氡上升情况具有一定可信度, 为单井单项观测手段异常, 成为地震前兆异常的可能性较大。2016 年 1 月 21 日门源发生 $M_s6.4$ 地震, 震后气氡测值出现转折下降, 目前已恢复正常的变化形态 (图 6)。

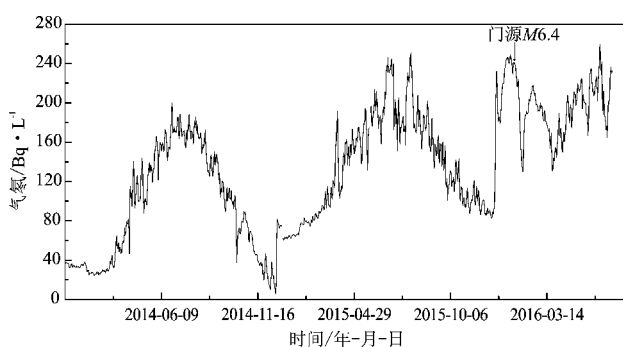


图 6 乐都气氡日均值曲线

Fig. 6 The daily mean curve of gas radon recorded by Ledu Station

3 异常特征分析

3.1 时间特征

从时间过程看 (图 7), 地下流体异常以中短期异常为主, 主要出现在 2015 年下半年, 异常出现的时间是渐进式的, 最早出现在震前 4 个月, 最晚在震前 12 天。物理测项异常出现的时间早于化学测项, 水位异常出现的时间早于水温异常, 最早出现异常的是平安静水位, 其次是玉树水温, 最晚出现的异常为湟源水氡。玉树水温异常在地震前结束, 而平安静水位、湟源水氡和乐都气氡异常在震后才结束。

3.2 空间演化特征

从现有的资料来看, 空间上, 据此次地震震中 300 km 范围内的测点有 11 项, 其中有 3 个测项出现异常, 占 27%, 且这 3 项异常在震中距 200 km 范围内。说明门源地震相对应的异常项次少, 异常范围小。在震中距 600 km 以外的玉树水温也出现异常。与以往 6 级地震相比, 地下流体前兆场的分布具有明显的“远场”效应, 也

说明玉树水温测点对门源 $M_s6.4$ 地震反应比较敏感。但从图 8 中可以看出, 异常出现的时间和震中距关系不成比例。



图 7 异常时间进程图

Fig. 7 The process diagram of abnormal time

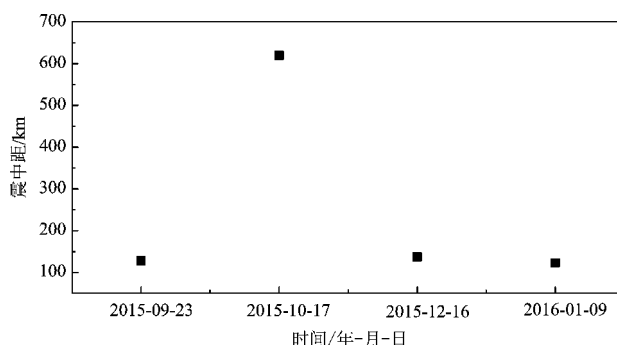


图 8 异常出现时间和震中距关系图

Fig. 8 The relationship between anomaly occurrence time and epicenter distance

3.3 形态特征

玉树水温异常形态和异常幅度复杂多变, 形成的原因还有待进一步的研究, 平安静水位、乐都气氡都表现为破年变异常, 湟源水氡在震前 12 天出现了快速下降, 目前所有数据恢复正常的变化形态。

4 结论

根据上述异常特征分析, 门源 6.4 级地震前出现的异常均为中短期异常, 其中 2 项异常特征表现为破年变异常, 平安静水位异常出现的时间比乐都气氡异常出现的时间长。湟源水氡在震前 12 天出现快速下降的异常变化, 而玉树水温异常形态和异常幅度复杂多变, 虽然目前 4 项地下流体测值已恢复了正常的变化形态, 但由于平安静水位资料运行的时间比较短, 无震例积累, 还需要密切跟踪。

参考文献:

- 陈玉华, 马玉虎, 杨晓霞等. 2010. 青海玉树 7.1 级地震异常及其思考[J]. 国际地震动态, (11): 19–26.
- 杜娟, 屠泓为, 苟智栋. 2012. 西宁、湟源台 1986 年以来水氡映震特征分析与探讨[J]. 内陆地震, 26(1): 90–96.
- 哈辉. 2005. 青海省地震监测志[M]. 北京: 地震出版社.
- 何案华, 赵刚, 刘成龙等. 2012. 青海玉树与德令哈地热观测井在汶川与玉树地震前的异常特征[J]. 地球物理学报, 55(4): 1261–1268.
- 胡朝忠, 杨攀新, 李智敏等. 2016. 2016 年 1 月 21 日青海门源 6.4 级地震的发震机制探讨[J]. 地球物理学报, 59(5): 1637–1646.
- 万存绪, 吴中力, 郝臻等. 2001. 1990 年共和 7.0 级地震和景泰地震前的短临弱前兆信息[J]. 西北地震学报, 23(1): 30–35.
- 杨晓霞, 孙丽, 孙春玲等. 2016. 玉树井水温异常与尼泊尔 M_s 8.1 级地震关系[J]. 高原地震, 28(2): 12–15.
- 张敏. 2002. 2000 年 6 月 6 日甘肃景泰 5.9 级地震前中短期震兆特征研究[J]. 高原地震, 14(4): 23–28.
- 张新基, 张慧, 张昱等. 2005. 民乐—山丹地震地下流体异常场特征及其成因分析[J]. 西北地震学报, 27(2): 168–173.
- 朱成英, 高小其, 地里下提·克优木等. 2006. 新源 4.7 级地震前地下流体前兆异常特征[J]. 内陆地震, 20(2): 149–154.

Analysis on Anomaly Characteristics of Underground Fluid before Qinghai Menyuan M_s 6.4 Earthquake in 2016

YANG Xiaoxia, WANG Xiaoling, LI Yuli, SUN Chunling, SUN Li
(Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China)

Abstract

There appeared precursor anomaly of underground fluid in Qinghai area before Qinghai Menyuan M_s 6.4 earthquake on Jan. 21, 2016. The anomaly type of underground fluid can be divided into two types. The first is wave anomaly, and it mainly presented as rate change. The second is annual distortion anomaly, whose characteristic mainly presented as broken yearly change law. The appearance time of mid – short term anomalies before the earthquake is disproportional to epicenter distance.

Key words: Menyuan M_s 6.4 earthquake; underground fluid; precursory anomaly