

李滔、马建新、樊春燕等, 2012, 玉树地震前的地下流体观测井温度数据超差异异常及其与地震关系研究, 中国地震, 28 (3), 328 ~ 334.

玉树地震前的地下流体观测井温度数据超差异异常及其与地震关系研究

李滔¹⁾ 马建新¹⁾ 樊春燕²⁾ 邱鹏成¹⁾ 姚家骏¹⁾

1) 青海省地震局, 西宁市兴海路 1 号 810001

2) 中国地震台网中心, 北京 100045

摘要 本文收集整理了距 2010 年 4 月 14 日玉树 7.1 级地震震中 700km 范围内的全部 13 个地下流体观测井孔的温度观测资料, 统计分析了 2008 年 5 月以来各井温度当月超过 3 倍均方差的数据个数 (以下简称月超差个数)。结果发现, 在玉树地震前 6 个月, 13 个观测井中有 10 个井观测数据出现月超差个数升高现象, 有 4 个观测井月超差个数出现了同震升高和震后升高现象。2008、2009 年大柴旦发生的 2 次 6 级以上地震前, 也有类似现象。此异常现象可能反映了玉树地震前场兆和源兆的共同作用过程。

关键词: 水温 月超差 玉树地震 大柴旦地震 青海省水温观测台网

[文章编号] 1001-4683 (2012) 03-0328-07 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地震前井水温观测出现突变性的脉冲或突升-突降的变化已有报道 (车用太等, 1998; 陈亚红等, 2010), 尤其在临震前的短、临阶段, 水温的突变性异常变化表现得比较普遍。

2010 年 4 月 14 日发生在青海玉树的 7.1 级地震, 是中国大陆继 2008 年 5 月汶川 8 级地震后的又一次显著地震事件。由于玉树地震所处的青、川、藏交界地区位于地震前兆监测能力较低区域, 相对缺乏较为可靠的前兆异常依据 (李纲等, 2011), 因此震前未能确认到可用于预测的前兆异常。为了厘清玉树地震的前兆异常, 彻底清理全部可用的观测数据, 充分挖掘其中有意义的信息是十分必要的。

为增强对区域地震的监测能力, “十五”前兆数字化观测技术改造期间建立了由 12 个数字化水温测井构成的青海省水温数字化观测台网, 本文选取了距离玉树震中 700km 以内的全部该台网内的数字化流体观测井孔, 对 2008 年 5 月以来井孔温度观测数据进行了统计和分析, 用以考查玉树地震前后该测项的变化状况。

1 观测井概况

在玉树震中 ($E96.6^\circ$, $N32.2^\circ$) 外围 700km 范围内, 分布着 13 个“十五”数字化温度观

[收稿日期] 2011-10-16

[项目类别] 青海省地震科学基金 (2012A04) 资助

[作者简介] 李滔, 女, 1973 生, 高级工程师, 现主要从事地震监测与台站管理工作。E-mail: litao7729@sina.com

测井孔。这些井孔包括青海省的全部 12 个井孔和西藏自治区的拉萨井。各井孔使用的均为 SZW-1A 型数字式温度计。井孔分布及相关参数见图 1、表 1。

表 1 水温观测井(泉)情况一览表

编号	井孔名称	构造部位	井孔岩性及地下水补给源	井深(m)	水位埋深(m)	仪器置深(m)	震中距(km)
1	玉树	巴颜喀拉山南麓及唐古拉山东端	浅部 3.60m 为人工填土和碎石土层, 以下为花岗岩; 基岩裂隙渗水补给	105.0	10.00	100	44
2	大武	巴颜喀拉山和阿尼玛卿山之间	9.80m 以上为粉土, 9.80 ~ 32.50m 为灰岩, 32.50 ~ 106.50m 为棕红色泥岩	106.5	无水	100	366
3	都兰	柴达木盆地一隅, 可可西里-巴颜喀拉、柴达木两大地震带之间	0.50m 以上为粉土, 上部夹有砂砾; 0.50 ~ 44.80m 为角砾, 44.80 ~ 105.30m 为坡积角砾	105.3	无水	100	370
4	湟源	日月山断裂带和拉脊山断裂带交汇复合处的北缘地段	浅部 2.10m 为土夹石层, 其下为厚度 1.50m 的细砂层; 3.60 ~ 13.70m 为湟水河冲洪积角砾层; 以下为花岗岩。基岩裂隙渗水补给	105.1	8.60	100	502
5	同仁	西秦岭褶皱带的西段	15.30m 以上为粉质粘土, 上部夹有砂砾; 15.30 ~ 17.80m 为卵石, 20.20 ~ 106.50m 为棕红色泥岩	106.5	无水	100	559
6	西宁	湟水流域中段的西宁盆地内, 盆地边缘受拉脊山断裂带、日月山断裂带和达坂山断裂带控制	上部有 11.60m 的粉质粘土、粉细砂层, 下部为第三系泥岩和砂岩	105.6	无水	100	592
7	拉萨	当雄-羊八井构造带	砾石冲积层松散岩类孔隙水	111.2	2.00	7	621
8	门源	祁连山褶皱带内	浅部 5.60m 为土夹石层, 以下为基岩, 岩性为中砂岩, 间夹薄层泥岩。基岩裂隙渗水补给	105.4	17.20	100	643
9	乐都	青藏高原北部边缘, 祁连山褶皱带的西宁-民和断陷盆地内, 盆地边缘受日月山-达坂山断裂带控制	浅部 26.30m 以上为碎石层, 位于坡积碎石含水层的潜水, 上游地下径流侧向补给 深部位于花岗岩含水层中的承压水, 属基岩孔隙、裂隙, 上游渗水补给	105.7	3.80 40.00	100	647
10	民和	黄土高原与青藏高原过渡地带, 北部为祁连山构造带东延分支——达坂山脉, 南部为拉脊山断裂带延伸部分	0.50m 为人工填土, 26.60m 以上为黄土状土, 26.60 ~ 46.80m 为密实的卵石土, 46.80 ~ 105.80m 为棕红色泥岩, 间夹 0.10 ~ 0.20mm 薄层砂岩	105.8	无水	100	665
11	德令哈	柴达木断陷盆地北缘, 盆地北侧为柴达木盆地东北缘断裂带	旧井, 资料不详		98.00	80	470
12	互助	西宁断陷盆地的北部	2.50m 以上为粉质粘土, 上部夹有砂砾。2.50 ~ 17.60m 为卵石, 17.60 ~ 108.30m 为棕红色泥岩。结构完整, 有裂隙发育, 局部有石膏结晶体。无深层地下水	108.3	无水	100	633
13	平安	达坂山与拉脊山夹持的山间盆地, 地质构造上隶属于祁连构造带	浅部 2.20m 为粉土层, 其下为厚度 4.40m 的坡积土夹石, 6.60 ~ 28.70m 为湟水河冲洪积卵石层。位于卵石含水层的潜水, 上游地下径流侧向补给 深部为上第三系泥岩为主, 间夹薄层砂岩, 位于砂岩含水层中的承压水, 属基岩孔隙、裂隙含水层, 上游渗水	105.3	11.30 40.00	50	619

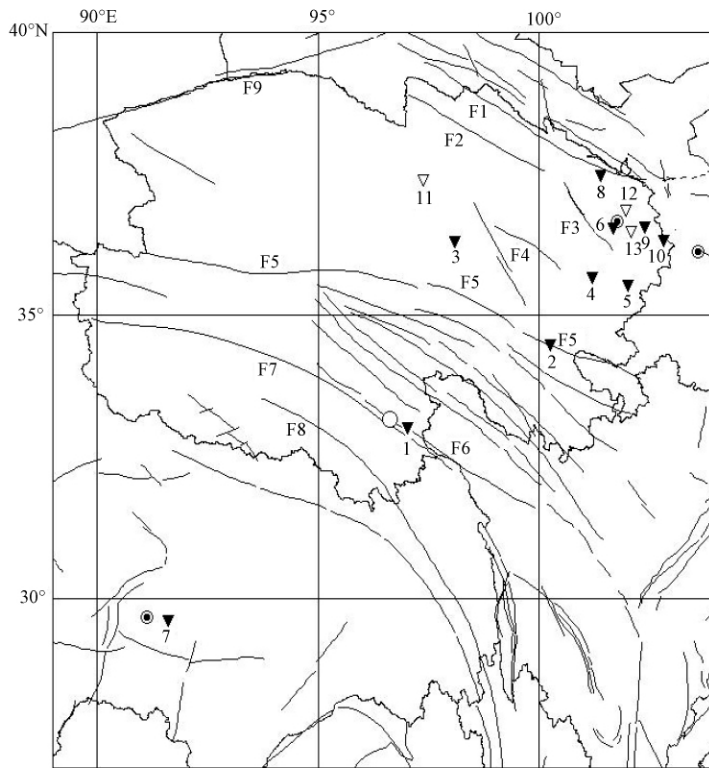


图 1 玉树震中周边 700km 范围内水(地)温测井分布图

▼ 出现异常的井孔;▽ 未出现异常的井孔;○ 2011 年 4 月 14 日玉树 7.1 地震震中。井孔编号:1 玉树, 2 大武, 3 都兰, 4 湟源, 5 同仁, 6 西宁, 7 拉萨, 8 门源, 9 乐都, 10 民和, 11 德令哈, 12 互助, 13 平安。断裂编号: F1 陶莱山-门源断裂, F2 祁连山北侧断裂, F3 日月山-拉脊山断裂, F4 哇玉香卡-拉干断裂, F5 阿尼玛卿断裂, F6 玉树断裂, F7 玉树南断裂, F8 澜沧江断裂, F9 阿尔金断裂

2 数据选取与分析方法

所选 13 个测井的数字化水温仪于 2007 年安装到位, 2008 年数据逐渐趋于稳定, 因此选取了 2008 年 5 月~2011 年 8 月的水温观测分钟值数据, 统计分析了各井孔当月超过 3 倍均方差的数据个数, 简称月超差个数(以下同)。各测井观测数据情况见表 2(其中数据完整率、月均值和差分均方差均为各月统计量的平均值)。

3 结果及分析

3.1 统计结果

按月统计各井孔的超差个数, 绘出了各井随时间变化的水温月超差个数曲线。曲线的纵坐标 N 为每月超 3 倍均方差的数据个数, 横坐标 t 为时间。将各井月超差个数超过本井月超差个数的正常动态范围的值作为异常变化。观察超差曲线形态(图 2)发现, 有 10 个井孔在玉树地震前半年到 1 个月出现了明显的异常变化。表 3 列出了这 10 个井孔的异常变

化情况。

表 2

水温观测井(泉)观测数据情况统计表

编号	测井名称	数据完整率	月均值	差分均方差
1	玉树	92.32	9.8464	0.0023
2	大武	99.82	8.2778	0.0001
3	都兰	97.91	7.0802	0.0025
4	湟源	97.52	10.0272	0.0001
5	同仁	99.65	17.1215	0.0193
6	西宁	99.67	14.4651	0.0002
7	拉萨	97.80	10.7861	0.0123
8	门源	99.82	9.3745	0.0001
9	乐都	88.31	14.5738	0.0963
10	民和	100.00	14.7431	0.0001
11	德令哈	99.60	9.7771	0.1153
12	互助	100.00	10.9744	0.0047
13	平安	99.49	10.4728	0.0004

表 3

玉树地震震中周边 700km 范围内测井水温超差情况统计

测井名称	震中距(km)	2009 年			2010 年			同震和震后效应时间(年.月)	持续时间(月)
		开始时间(年.月)	时间差(月)	持续时间(月)	开始时间(年.月)	时间差(月)	持续时间(月)		
玉树	44	2009.11	5	1	2010.01	3	1	2010.04	1
大武	366	2009.10	6	1	2010.02	2	1		
都兰	370	2009.10	6	1				2010.05	4
湟源	502				2010.01	3	2	2010.04	1
同仁	559	2009.11	5	3				2010.04	1
西宁	592				2010.02	2	1		
拉萨	621	2009.11	5	1					
门源	643	2009.10	6	1	2010.03	1	1		
乐都	647	2009.12	4	1	2010.03	1	2		
民和	665	2009.11	5	1	2010.02	2	1		

3.2 综合分析

(1) 从统计结果看,在震中距 700km 范围内的 13 个测井中,有 10 个月超差个数在玉树地震前出现了明显的异常。仅有德令哈、平安和互助并未出现此项异常。

(2) 震前有 5 个测井出现了 2 次突跳,另外 5 个井孔则只出现了 1 次突跳。从时间上看,异常集中在这两个时段:即 2009 年 10~12 月,有 8 个井孔出现首次突跳;2010 年 1~3 月,有 7 个井孔发生首次或第 2 次突跳。

(3) 震中距较远和较近的玉树、大武、门源、乐都、民和等测井震前大多出现了 2 次突跳,而震中距位于中间的都兰、同仁、湟源、西宁、拉萨等测井则表现为单点突跳。各井孔的变化形态与井孔是否有水也没有明显的对应关系。

(4) 玉树井、湟源井和同仁井都在 2010 年 4 月出现向上突跳,可能为玉树地震的同震效应;都兰井在 2010 年 5~8 月间有高值过程,可能为震后效应。同震和震后效应似出现在震中距 560km 内的大部分井孔,仅有大武井例外。

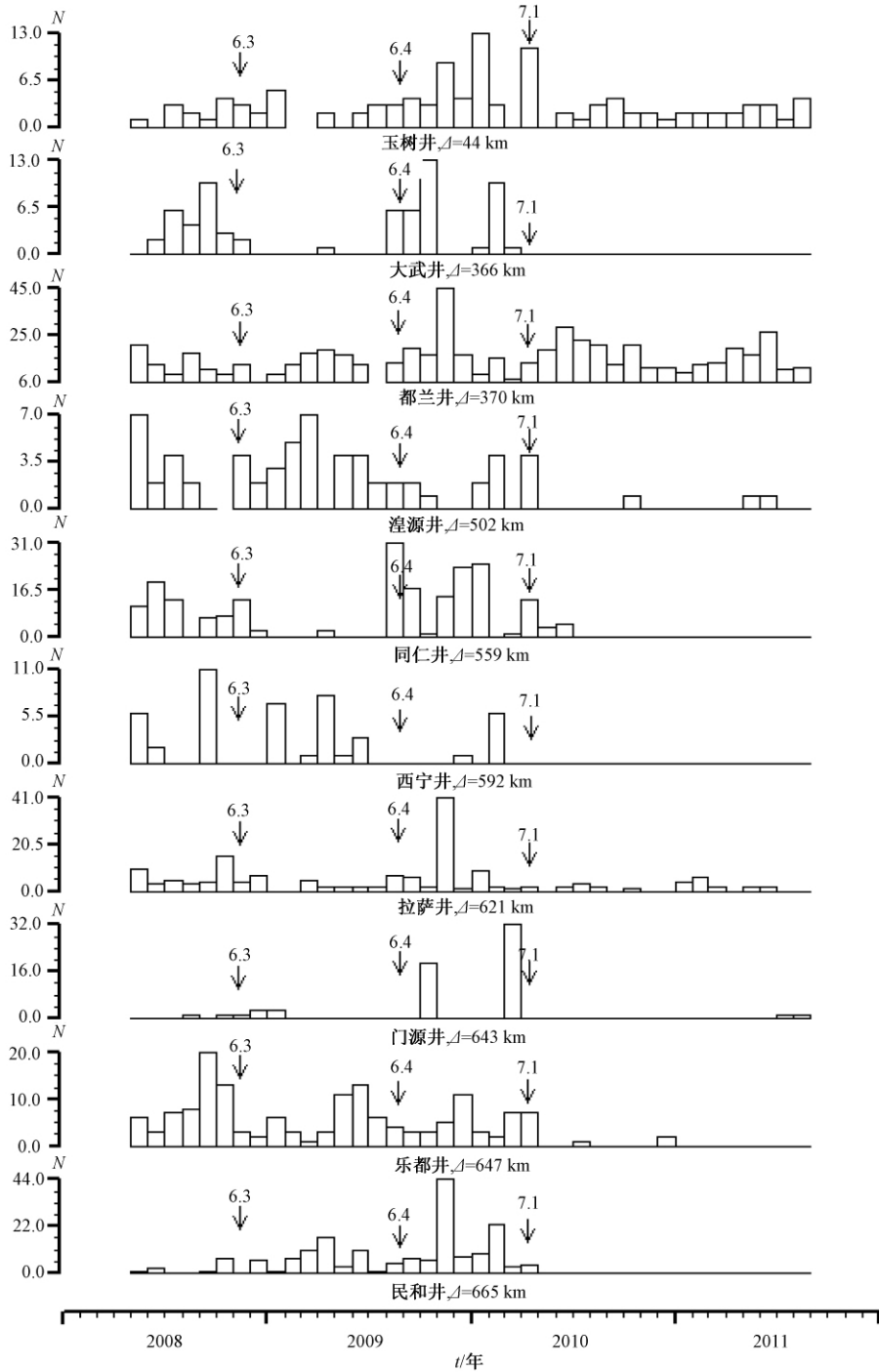


图2 各井水温超差个数曲线(分图由上到下以震中距从近到远排序)

(5) 在大柴旦的两次6级以上地震前,水温超差个数异常并不普遍。其中,大武井和西宁井在2008年11月大柴旦6.3地震前有异常反应,而2009年8月大柴旦6.4地震前却未

见两井的异常;乐都井在两次地震前均有异常反应。大武井和同仁井在 2009 年 8 月 26 日 6.4 级地震时都发生明显的同震上升,大武井在震后并没有回落,而是于 10 月继续上升,开始了玉树地震的震前异常过程;而同仁井则于次月回落,到 11 月才开始了玉树地震的震前变化。

(6) 出现明显水温超差个数异常的这 10 个测井中,仅有玉树井的原始观测曲线表现出了明显的震前异常。说明在玉树地震前 6 个月之内,距震中 700km 范围内,大部分测井虽先后出现水温观测数据稳定性变差的现象,但却未全部在原始观测曲线上体现出来,而通过数据的深入分析,使其得以显现。特别是都兰井,平时水温超差个数一直较高,数据稳定性较差,但超差个数曲线的震前异常形态却非常清晰。因此,对于前兆异常的研究,应该突破原始数据表面形态的变化,深入挖掘数据蕴含的内在信息。

4 讨论

从各测井情况分析,上述异常的出现与井孔的岩性和水文地质条件等原因并没有直接联系。异常形成可能与大震前的应力积累过程有关。此次出现异常井孔全部位于青藏高原,且呈 NE 向展布,纵向贯穿了青藏高原的主要断裂构造带。这可能表明玉树地震虽发生在青藏高原巴颜喀拉块体的中南部的巴颜喀拉块体南边界甘孜-玉树断裂上(刘云华等, 2010),但其应力积累却不局限于这一条断裂带,而是基于青藏高原内部的大范围应力积累过程。青藏高原内部由西南向东北的多个构造单元,可能都参加了这一过程。

若源兆为震源区及近源区出现的各种效应,场兆则为在震源形成及演变过程中大范围区域应力场在众多敏感点显示的异常现象(张国民等,2001)(表 4)。源兆的显现范围是几十至数百千米,一般中强震源兆的范围为几十千米。场兆的范围在空间上可以很广,往往与大地构造单元有关,其尺度可达几百至上千千米。在日常地震监测中,所观测到的地震前兆信息绝大多数为场兆信息(高小其等,2002)。在流体观测中绝大多数异常是区域构造活动产生的场兆信息,而不属于震源信息(马建英等,2008)。

表 4 不同震级地震的源兆可能显现的范围(张国民等,2001)

震级 (M_s)	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
源兆范围 (km)	11.2	19.4	33.5	58.0	100.2	173.4	300.0	519.1

按表 4 的结果划分,玉树地震前出现的大面积水温超异常,在玉树井出现的应为源兆,而其他井孔则表现出了场兆的明显特征。

5 结论

(1) 玉树地震前 6 个月之内,震中周边 700km 范围内,有 10 个观测井孔的温度观测数据超差个数出现上升,可能表明由于震前应力积累导致水温观测数据不稳定,从而表现为数据超差个数的上升。从异常分布区域的反映分析,玉树地震的震前应力积累可能是在青藏高原内部较大区域内进行的。

(2) 井下温度月超 3 倍均方差个数的异常,在玉树地震前表现的比较明显,而在两次大柴旦地震前则仅有少量出现。玉树地震前出现此项异常的井孔,全部都位于青藏高原且震中距 700km 以内,传感器的置深都在 100m 左右。符合这一条件的井孔,有 77% 均出现了明

显的震前异常。而此项震前异常是否可以作为青藏高原地区 7 级以上强震中期预测的参考性依据,及其对于其他地区其他井孔条件是否具有外推价值,尚需要更多的震例来进行验证。

(3) 井下温度异常的研究,不能只停留在原始数据形态表面,而是应该深入挖掘数据内在所蕴含的内在信息,以提升温度测值在对于强震预测的前兆价值。

致谢: 本文在资料的收集整理方面得到了中国地震局地壳应力研究所张彬、青海省地震局马玉虎、李国佑、杨晓霞、赵燕杰、张敏和西藏自治区地震局尚荣波等的帮助和支持;匿名审者对本文的完善给予了重要的帮助,在此一并表示诚挚的谢意!

参考文献

- 车用太、王基华、林元武等,1998,张北、尚义地震前的地下流体异常及其跟踪预报,地震地质, **20**(2), 99~104。
 陈亚红、董春勇、张军等,2010,菏泽地震前流体中短期异常分析,华北地震科学, **28**(2), 37~40。
 高小其、许秋龙、王道,2002,地下流体中强震源兆、场兆和强震远兆特征及其物理成因,地震, **22**(3), 81~88。
 李纲、刘杰、王博等,2011,2010 年玉树 7.1 级地震趋势预测研究回顾,地震, **31**(3), 64~76。
 刘云华、单新建、屈春燕等,2010,青海玉树 $M_s7.1$ 级地震地表形变场特征研究,中国科学,地球科学, **40**(10), 1310~1320。
 马建英、刘学领、李君英,2008,河北文安 5.1 级地震前天津地区地下流体异常特征,地震, **28**(1), 73~78。
 张国民、傅征祥、桂燮泰等,2001,地震预报引论,北京:科学出版社。

Research on the relations between the overproof of the temperature data before the Yushu earthquake of ground fluid monitoring wells and the Yushu earthquake

*Li Tao*¹⁾ *Ma Jianxin*¹⁾ *Fan Chunyan*²⁾ *Qiu Pengcheng*¹⁾ *Yao Jiajun*¹⁾

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

2) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

Abstract This paper collects and files the data of all the 13 observation wells for underground within a radius of 700km from the Yushu $M_s7.1$ earthquake on April 14, 2010, and analyzes the number of the data which are more than three times of the mean square deviation of the month overproof from May, 2008. It is found that the number of month overproof increased in ten wells six months before the earthquake, four wells increased coseismically and after the event. The similar phenomena were also found before the two earthquakes with $M \geq 6.0$ in the Dachaidan region from 2008. Those abnormal phenomena may reflect the interaction of the field precursor and the source precursor before the Yushu earthquake.

Key words: Water temperature Month overproof Yushu earthquake Dachaidan Earthquake Qinghai Groundwater Observation Network