

汶川 8.0 级地震前后表层水温的异常变化研究

邱鹏成, 王永刚, 杨广华, 白香玲, 赵生生

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

摘要:对汶川 8.0 级地震震中周围 800 km 范围内 73 个井孔的表层水温资料进行了分析。根据设定的异常与不确定性异常判定依据, 发现有 9 个井孔出现了前兆异常; 有 5 个井孔的异常不能确定是否为前兆异常; 有 3 个井孔出现了典型非前兆异常变化; 其余未出现任何异常变化。分析认为异常存在早期、中期和晚期三个阶段, 表现为缓变、突变和向下的阶梯状变化。对 9 个异常井孔的同井水位、气氛等其它流体测项以及同台或邻近台站形变仪器(钻孔应变、钻孔倾斜、洞体应变等)在表层水温异常变化时段内的动态变化特征进行了对比, 发现地壳形变与表层水温在异常的晚期阶段具有一定的相关关系; 而同井水位与表层水温异常的关系不大。

关键词: 汶川 8 级地震; 表层水温; 地壳形变; 异常

中图分类号: P315.723

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2010)04-0367-09

Research on the Anomalous Changes of Water Surface Temperature before and after Wenchuan $M_s8.0$ Earthquake

QIU Peng-cheng, WANG Yong-gang, YANG Guang-hua, BAI Xiang-ling, ZHAO Sheng-sheng

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

Abstract: The data of water surface temperature before and after Wenchuan $M_s8.0$ earthquake in 2008 from 73 wells in the range of 800 km from the epicenter are analyzed. According to the given judgment basis for anomaly and indeterminate anomaly, among the all observing wells, 9 wells had seismic precursor anomalies, 5 wells had anomalies but can not be determined to have relation with the earthquake, 3 wells had typical "no-anomalous change" and others had no anomaly. It is considered that there are three periods in the anomalous appearance, which are early period with slow change, middle period with sudden change and late period with going down change. Meanwhile the dynamic change characteristics of water level, gas radon and other fluid measure items in the same wells, as well as some deformation items (strain in drill hole, tilt in drill hole, strain in tunnel body etc.) in the same stations or nearby stations (≤ 50 km) are compared with the change of water surface temperature. It is found that crustal deformation anomaly is interrelated with the late period of anomaly in water surface temperature, but anomaly of water level has nearly not relation with the temperature in same wells.

Key words: Wenchuan $M_s8.0$ earthquake; Water surface temperature; Crustal deformation; Anomaly

0 引言

我国地下流体学科研究从上世纪 70 年代全面

展开以来, 经过 30 余年的发展和攻关研究, 在前兆识别与理论研究等方面取得了重要进展。针对地下

收稿日期: 2010-01-09

基金项目: 青海省地震科学基金(2008A02)

作者简介: 邱鹏成(1971-), 男(汉族), 安徽灵璧人, 工程师, 现主要从事测震台网管理及地震预报等工作。

流体异常特征,认识到科学识别源兆与场兆是判定孕震区的关键指标。车用太等^[1]认为中期异常是区域构造活动激发了局部构造活动与震源体的生成与发展;局部构造活动的强化产生了地下流体的短期异常场;震源体发展到临震阶段时在震中区生成了地下流体的源兆异常场。王长岭等^[2]认为源兆出现时间早,而场兆出现时间较晚。刘耀炜等^[3]认为地下流体强震前兆的信息特征主要表现在出现时间上的阶段性、加速性和空间分布上的群体性和配套性等方面。这些研究加深了人们对于地下流体异常特征与形成机制的认识。

地震是地壳介质在构造力的长期作用下,一些特殊部位能量长期积累和突然释放的结果。因此在地震孕育期间孕震体介质必然产生形变^[4],由此可能诱发地下流体、电磁学科等出现一些相应的异常变化。此外研究证明,地震的前兆信息不仅存在于

未来的震中区,在震中区的周边区域甚至远离震中区的一些特殊地质构造部位也广泛存在。因此对各类地震前兆异常应在较大分布范围内综合分析,研究其相关关系。

本文的研究思路是:以汶川 8.0 级地震震中为中心,方圆 800 km 范围内的 73 个井孔的表层水温资料为研究对象(图 1),根据设定的异常与不确定性异常判定标准,确定出异常变化、非异常变化以及不确定性异常变化井孔。对于异常井孔,如果有同井水位、气氦、气汞等观测项目以及这些异常井孔所处的台站(或其附近 50 km 内),如果还有定点形变测项(钻孔应变仪、体应变仪、钻孔倾斜仪等),则要进一步研究这些测项在表层水温异常时段内是否有异常,异常变化在时间上是否与表层水温有联系。对于电磁学科资料本文不作具体分析,如需要将引用已发表文献加以说明。

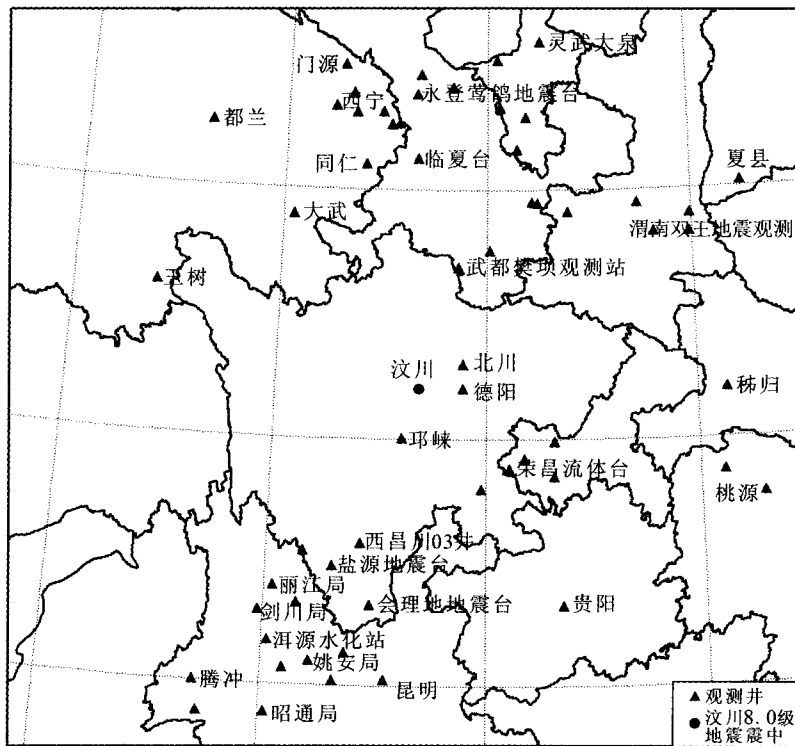


图 1 研究区内观测井和汶川地震震中分布图

Fig. 1 Distribution of the observaing wells in the research area and the epicenter of Wenchuan earthquake.

1 异常与不确定性异常判定依据

1.1 异常判定依据

根据表层水温异常变化特征以及相关震例,给出如下前兆异常定性判据:(1)具有正常动态变化背景,表现为日变幅稳定、动态曲线年变规律清晰;(2)引起异常的人为、环境、气象、同震以及其它地震前

兆等因素已经排除;(3)震前出现阶变、脉冲、尖峰或趋势性缓慢异常变化(向上或向下),震时出现同震效应后立即恢复或震后异常逐渐衰减并恢复正常形态。

同时符合这三条判据可认为出现前兆异常。

1.2 不能确定性异常判定依据

地震异常变化是比较复杂的,人类对地震的孕育与发生过程的认知依然有限,比如有些异常在震前已经结束,震时无变化或仅出现同震变化,实际上不符合异常判据的第三条,也就是与地震的发生不相关。这类异常引起的原因不清楚,不能简单地将其归类为前兆异常或非异常,因而引入不确定性异常的概念。不确定性异常的判据除了要符合异常判据的前两条之外,还应符合下述判据之一:(1)震前异常(阶变、尖峰、脉冲等)已经出现并结束,震时或震后未有变化或仅有同震效应;(2)震前出现异常,震时未有变化或仅有同震效应,震后异常出现最高点或最低点,并恢复正常变化;(3)异常出现后发生了两次或两次以上不同地域的与此异常均存在一定相关关系的地震。

2 汶川地震前表层水温动态变化分析

本文研究的台站,均为“九五”和“十五”期间建立起来的,由于“十五”期间建立的台站运行时间较短,考虑到资料时段的一致性,所有数据起始时间均为2007年7月1日00时,截止到2009年11月30日23时,研究时段要尽可能长,可以排除年变因素所致的虚假异常。

根据异常与不确定性异常判定依据,对汶川地震震中周围800 km范围内73个井孔(含“九五”数字化改造的17口井)的表层水温整点值数据进行了甄别分析,发现芦阳、西宁、乐都、民和、德阳、大足、张家界、西昌川03、泸沽湖等9个井孔出现了前兆异常,其中民和井、泸沽湖井为中期异常,乐都井、大足井既有中期异常,也有短临异常。北川井由于无震后资料,将其作为特例加以分析和说明。除了异常井孔外,有59口井可以确定未出现异常,其中秭归、丽江局、攀枝花沙沟等3口井出现了典型非异常变化(与前兆异常容易混淆)。中卫黑山嘴、互助、临夏、荣昌、腾冲等5口井被认为是不确定性异常。

2.1 前兆异常井

图2是各异常井孔的整点值动态变化曲线,可以看出芦阳井和大足井在数据的起始阶段、西昌川03井在2009年下半年背景值有些不稳定,在近两年半的时间里各井的动态背景基本是稳定的,之所以尽可能选取更长的时间段,主要目的是判别和区分年变异常。9个井孔整体看异常可分为三个阶段:第一个阶段属于孕震早期的前兆异常的缓慢变化阶段,开始时间要视具体井孔而定,民和和乐都井要早于2007年7月1日(仪器刚架设,之前的数据没有);泸沽湖井在2007年12月2日、大足井在2007年12月11日前后出现;张家界井对比2009年的曲线应该是年变。第二个阶段为孕震中期,典型变化就是出现突变(突然上升或下降),典型的井孔有西昌、大足和德阳井,突变阶段的开始时间就是缓变阶段的结束时间,为2008年1-3月;民和井和乐都井分别于2月9日和10日由下降和上升转为近似水平变化,虽然不是明显突变,在时间上与第二个阶段也是相符的。异常第三个阶段为孕震晚期即临震阶段,曲线开始出现向下的阶梯状变化,有的井还会出现突变异常,典型井孔有西宁、乐都和张家界。芦阳和大足井在这个阶段的异常表现为突变并伴随着脉冲和尖峰异常,芦阳井在3月5日出现一次异常,4月5日结束,应为3月30日甘肃肃北5.0级地震的前兆异常,该井两次前兆异常的类型相似;大足井在第二和第三阶段的异常可以看作为一个整体,不容易区分,但5月2日后异常出现的周期明显缩短,频率明显加快,异常存在一个逐渐增强的过程;泸沽湖井在缓变异常的基础上于4月10日至22日出现了突变异常。芦阳、乐都和西宁三个井孔的异常变化的一致性较好,异常出现时间似乎与震中距(由近及远)有一定的关系。异常变化的最高点或最低点也在相同的时段内(4月29日至5月9日)(图2、图3、表1)。单个井孔往往表现为一个或两个阶段的异常,其中晚期阶段异常井孔有5个之多,异常变化的信息也比较丰富,是最主要的。

表1 表层水温前兆异常井孔基本信息表

井名	井深/m	探头置深/m	含水层岩性	地下水类型	高程/m	震中距/km	异常开始时间	异常类型
芦阳	194	180	砂岩	孔隙承压水	1 689	670	2008-04-27	突变、脉冲、尖峰
西宁	106	100	泥岩、砂岩	无水	2 327	640	2008-04-24	阶变
乐都	106	100	花岗岩	承压水	2 169	620	2008-04-23	缓变、阶变
民和	106	100	泥岩	无水	2 170	590	2007-07-01	缓变
德阳	3 072	195	砂岩	裂隙水	596	100	2008-03-02	阶变
西昌	756	595	长岩、磁铁矿	裂隙水	1 566	370	2008-01-25	突变
大足	109	90	砂岩	裂隙水	285	280	2008-01-27	突变、尖峰
张家界	100	78	石英砂岩、泥灰岩	裂隙水	180	710	2008-03-29	阶变
泸沽湖	200	199	灰岩	裂隙水	2 720	440	2007-12-02	缓变、突变

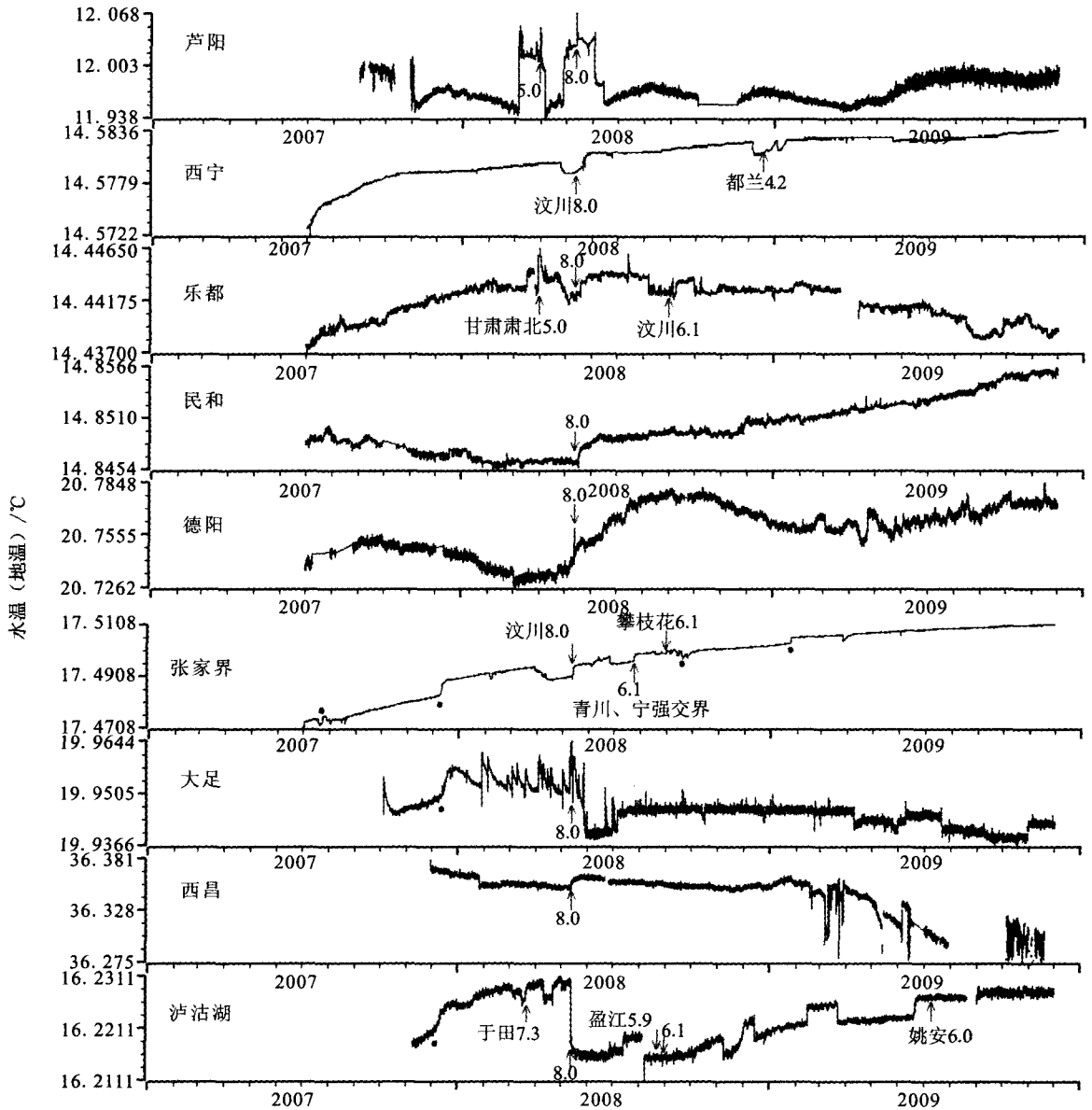


图 2 异常井表层水温的动态变化

Fig. 2 The dynamic changes of water surface temperature in the wells with anomalies.

笔者认为,水温异常变化的制约因素太多,如井孔所处的地质构造、环境和人为因素、探头置深、套管类型(密闭的还是带孔的)和深度等都能影响到异常变化的拾取。73口井只发现9口井有异常,说明异常发生的偶然性比较大。芦阳和西昌川03井各有三个探头被置于不同的深度,芦阳井的探头深度分别为60、120、180 m,180 m深度有异常,其余深度没有异常;西昌川03井的探头深度分别为395、595、765 m,595 m深度水温出现异常,另两个深度也没有异常。可见水温异常与探头深度有很大的关系。在73个井孔中,青海省有6个井孔无水,观测的应该是地温,地温观测的优势是环境干扰和人为因素

影响都比较小,9个异常井孔中有两个是地温观测井,说明众多的水温井也许本身会有前兆异常,但被人为和环境因素产生的背景控制和掩盖掉了。由于井孔分布的不均匀性,研究异常井孔的分布特征是没有意义的。

2.2 典型非异常变化井

有个别井孔出现变化,如果不仔细分析就会认为是异常井,容易混淆,这样的井有秭归、攀枝花沙沟和丽江局三口。丽江局井的背景值不太稳定,年变规律还是比较清晰,汶川和姚安两次地震前均出现了突降型异常,而且都是在异常结束后发生地震,但这应该只是巧合。虽然2008年底至2009年初数

据波动幅度要大一些,但年变规律并没有被掩盖,注意图 4 中的日期标示,姚安地震震中距离该井只有 180 km,由于姚安地震的影响,使得年变结束时段延后了。秭归井的异常属于年变加同震效应,如果没有 2009 年的资料,可能认为汶川地震前的异常非常典型,异常开始时间、阶变异常形态都与西宁和乐都

井接近,赵刚等^[5]把上述两口井的变化都列为前兆异常,可能与资料选取的时段过短有关。攀枝花沙沟井对印尼苏门答腊及其附近区域的强地震比较敏感,同震效应明显,如果不仔细分析,也有可能将其列为前兆异常(图 4)。

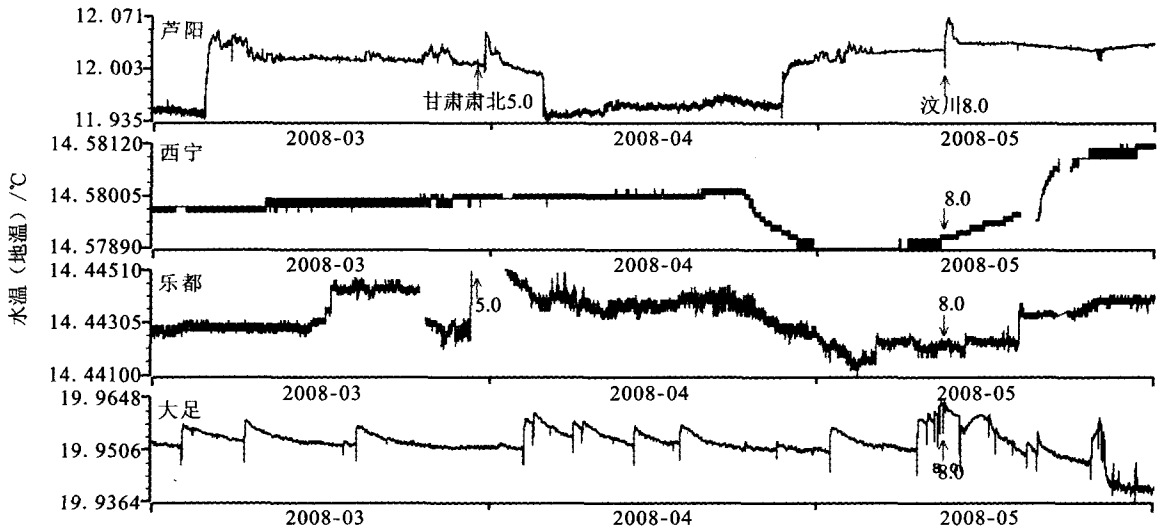


图 3 部分异常井孔表层水温的动态变化细节

Fig. 3 The dynamic changes of water surface temperature in some wells in detail.

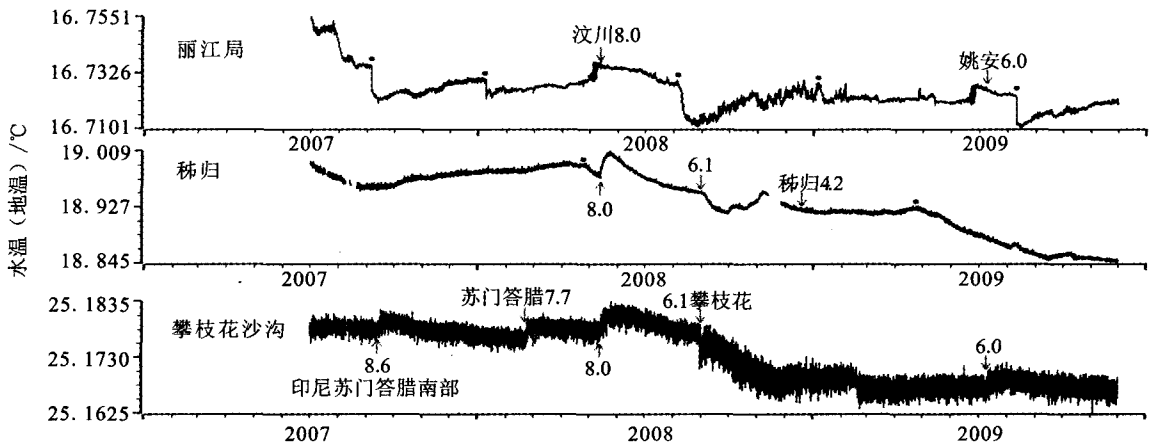


图 4 典型非异常变化井孔表层水温整点值的动态变化

Fig. 4 The dynamic changes of hours value of water surface temperature in some typical "no-anomaly change" wells.

2.3 北川井特例

北川井距离震中只有 90 km,处于极震区。北川县又是破坏最严重的地区,所以北川井保存下来的近一年的观测资料是弥足珍贵的。由于缺乏后续资料,前兆异常不能肯定。从图 5 可知,异常的缓变阶段至少从 2007 年 7 月 1 日就开始了。首先,从图 5 看到的类似于弯扰的变化有三次是完整的,弯扰变化幅度相近,周期随着地震的临近而延长,不排除

弯扰本身是异常的可能;其次,在 3 月 2 日至 4 月 24 日的弯扰变化中,3 月 25 日至 4 月 8 日出现了近似于正弦波变化,变化方向由向下转为平行,也许这是一个异常阶段;最后,在 4 月 9 日至 24 日正弦波变化转变为相对缓慢上升、急速下降的类似于钩扰型变化,变化方向恢复向下,这种钩扰型变化在其它几个弯扰型变化的最后阶段也有存在,但周期和振幅要小得多,这种钩扰型变化的结束日期也比较

特殊,为4月24日,这一天前后(4月23—27日),乐都、西宁和芦阳井进入异常的晚期(临震)阶段,而北川井水温直到地震发生都比较平静。德阳井在异常的中期阶段突变型异常的幅度也比较小(9个异常井孔中是最小的),距离震中110 km的邛崃井水温更是一片异常都没有,动态变化还比较平稳,只是出现了同震上升,这种震中区表层水温变化的平静是值得研究的,是否具有普遍性还需要有更多的震例。

2.4 不确定性异常变化井

有些异常不能肯定又没有理由完全否定,将其归类为不确定性异常,这样得到的前兆异常和研究结果可能更具科学性和权威性。根据不确定性异常判定依据,中卫、互助、临夏、荣昌和腾冲等5口井的异常具有不确定性。中卫井在震前突变型异常已经

结束并部分恢复,有同震下降变化,幅度不大,震后动态曲线平稳波动,背景值稳定;互助井在2月11日出现上升型异常,无同震变化,震后一直未恢复;临夏井震前曲线上升,无同震变化,震后仍然上升,于6月17日达到最高点后略有下降,此后一直平稳变化;荣昌井从3月10日开始出现阶梯状下降型异常,于3月18日达到最低点,3月21日新疆于田7.3级地震时有同震上升变化并部分恢复,汶川地震后完全恢复,从时间上看可能与于田地震的关系更大一些;腾冲井的异常类型比较单一,主要表现为向上的尖峰型变化,这种异常对应地震的概率还比较高,异常结束后一般30天内发生地震,发震前后水温的背景值非常稳定,同震变化的幅度也不明显,汶川地震前3月27日至4月10日有尖峰异常变化,但幅度比其它地震要小(图6)。

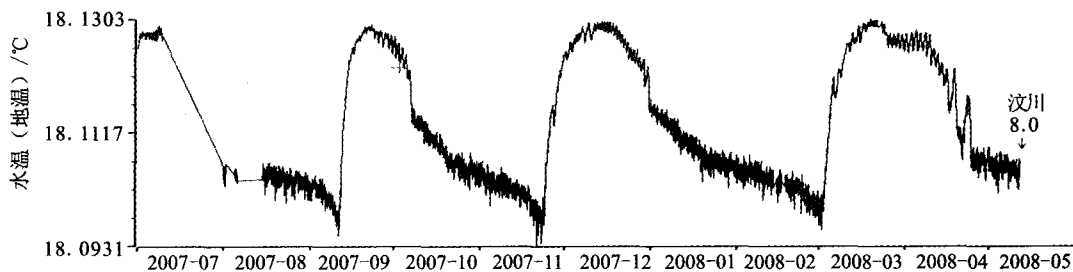


图5 北川井表层水温的分钟值动态变化曲线

Fig. 5 The dynamic variety curve of water surface temperature in Beichuan well.

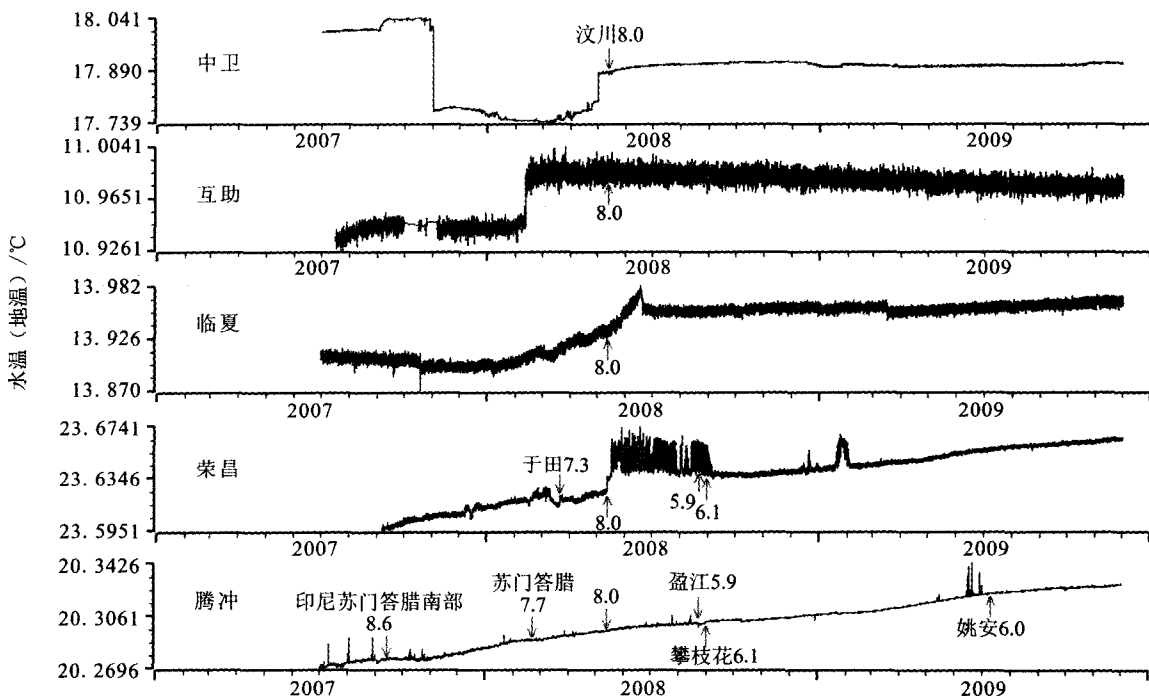


图6 不确定性异常井孔表层水温的整点值动态变化曲线

Fig. 6 The dynamic changes of hours value of water surface temperature in some "indetermination anomaly" wells.

3 表层水温异常井孔同井其它地下流体测项资料异常分析

表层水温异常井孔中除西宁、乐都和民和井无同井流体测项外,其余六个井孔也只有水位测项,无氢、汞等测项。芦阳井2008年4月3日后无数据。从水位分钟值动态曲线看,张家界(年变)、大足(同震)和德阳井(同震)无异常;西昌井在2007年12月23—26日、2008年1月7日—4月3日出现了两次断记,影响到了前兆异常的判定;泸沽湖井水位从

2008年3月31日开始出现升降型异常,异常恢复后即发生地震并出现同震上升,这个异常与地震的相关性不太好(震前异常已经结束),异常期间表层水温出现了突变异常(4月10日)。总的来看,表层水温与同井水位的动态变化不相关,同井水位的前兆异常并不明显,这可能与井水位更易受到降雨的影响有关。赵小茂等^[6]认为降雨对浅井水位影响明显,在一定范围内与地下水位的变化呈指数关系。

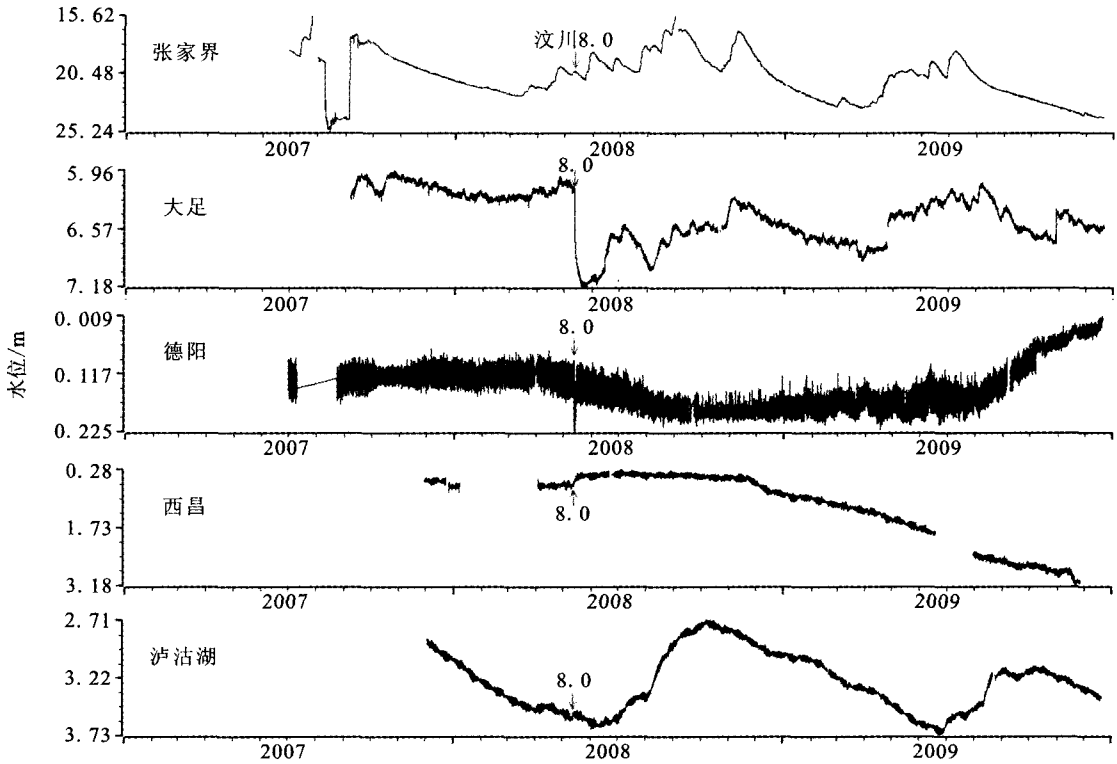


图7 同井水位的分钟值曲线

Fig.7 The minuts value curves of water level in the wells with water surface temperature anomalies.

4 表层水温与同台站(或邻近台站)形变测项异常相关性分析

为了便于和表层水温异常作比较分析,选择形变测项时,如果同台没有形变测项,一般取50 km之内的邻近台站形变测点;对于有多个形变测项的台站,选择动态背景稳定的测项;由于东西分量固体潮汐变化明显、清晰,统一使用东西向资料。最终选定景泰(距芦阳30 km)钻孔倾斜、小庙(同台)洞体应变、湟源(距西宁50 km)和乐都钻孔应变等形变测项。

对比表层水温异常的三个阶段,发现形变资料在水温的早期和中期阶段没有明显的异常变化,在

晚期阶段异常明显,在时间上具有准同步变化的特征。如图8所示,乐都台钻孔应变在4月23日07时出现一个典型的压性脉冲异常,当日01时前后该台表层水温开始出现阶变,50 km外的西宁井地温于24日08时开始出现阶变;景泰台的钻孔倾斜于4月27日18时开始连续下降,至28日零时左右结束,当天固体潮的正常形态被打破,30 km外的芦阳井表层水温于15时03分发生突变异常(上升);小庙台的洞体应变在4月24—28日也有明显异常显示,异常类型表现为高频脉冲和固体潮汐形态畸变;湟源台钻孔应变没有任何异常,而该台表层水温也同样无异常显示。根据分析,地壳形变与表层水温

在异常的晚期阶段具有一定的相关关系。顾国华等^[7]根据震前区域网 GPS 观测站得到的水平位移表明,震前震中附近水平位移最显著的特点是,震中北部明显向 NE 位移,震中南部明显向 SE 位移,而震中附近的水平位移则明显小于其北面和南面的水平位移。这个结果与本文表层水温(含形变测项)的异常分析是一致的(在异常井孔分布和异常幅度方面)。王武星^[8]等认为在汶川地震震前的 2008 年 4 月 24 日全国地磁台地磁垂直分量日变低点时间在空间分布上存在异常,本文研究的钻孔应变和表层

水温测点均在低点位移分界线附近。可以说 4 月 24 日前后是汶川地震孕震过程进入晚期阶段的重要转折点。在孕震的晚期阶段震中区的地震前兆应该是平静的,虽然北川井附近没有形变台站,但我们通过周边区域表层水温、钻孔应变、GPS 和地磁台点的异常看到的是周边地壳块体积极活动的一面,这是区域应力场增强的结果^[9]。毫无疑问,此时震中区地块岩层已经达到了受力和弹性变形的极限,既然地块岩层不再变形,地下水流动肯定不再活跃,表层水温保持平静变化就很正常。

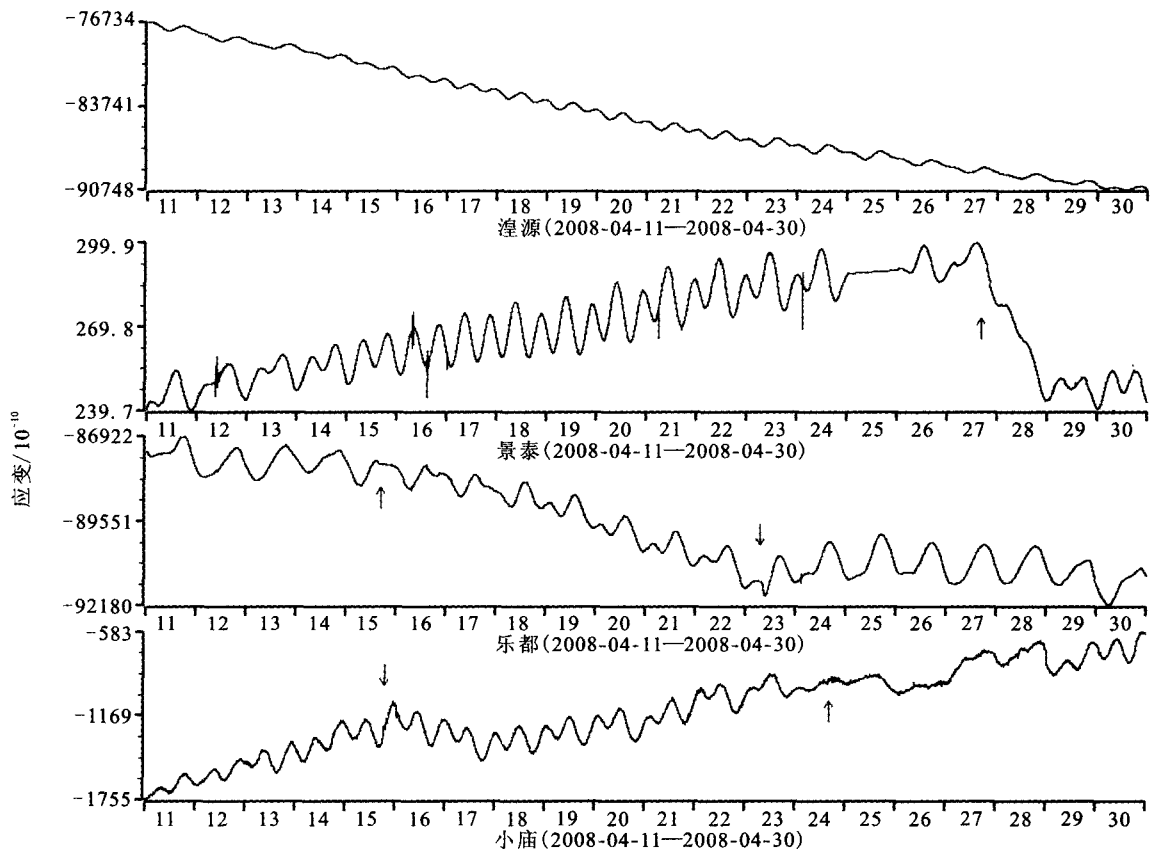


图 8 形变测项的分钟值曲线

Fig. 8 The minuts value curves of deformation observing in some stations.

5 讨论及结论

笔者针对表层水温的异常特征,提出了异常与不确定性异常的定性判定依据,将不能十分肯定的有时甚至是虚假的异常归为不确定异常,在异常分析中秉承宁缺勿滥的原则,主要目的就是要通过有限的前兆异常信息的研究,来提高对孕震过程和机理的认识。另外,强震发生前各前兆学科观测项目都会记录到形式多样的前兆异常,如何将这些异常融合在一起,形成一个前兆异常的整体,是一项重要

的课题。本文以表层水温异常为切入点,以异常在时间上的相关性为突破口,将流体、形变和地磁异常初步融合,是一种新的尝试。通过研究得到以下几点认识:

(1) 通过西宁、乐都等 9 个异常井孔的整体性分析,对应于孕震过程,可将异常划分为早期、中期和晚期三个阶段,早期阶段表层水温异常变化平缓,异常距发震时间在 5 个月以上;中期阶段表现为动态曲线的突变,异常距发震在 3 个月左右;晚期阶段异常类型表现为向下的阶梯状变化和突变,异常距

发震时间一般在一个月以内。

(2) 影响表层水温异常的因素除了井孔所处的地质构造、环境和人为因素外,探头置深不容忽视,西昌和芦阳井各有三个处于不同深度的探头同时工作,但出现前兆异常的各只有一个探头(深度分别为595 m、180 m),说明探头置深的影响是很大的。另外,在9个异常井孔中西宁和民和井是地温井,相对于水温井,地温井所受到的环境和人为影响要小得多。青海共有六口地温井,其中两个异常一个(互助)为不确定异常,可见地温观测有明显的优势。

(3) 从异常井孔的震中距来看,200 km 内的有一口,200~500 km 范围有三口,500 km 以上的有五口,由于井孔分布的不均匀性和异常受到诸多因素的制约,得不出具有普遍意义的异常井孔分布规律。

(4) 北川井表层水温虽然只有震前的10个月左右资料,但它给我们打开了一扇了解震中区异常和孕震过程的窗口,类似正弦波和大幅度的钩扰异常变化出现在4月24日之前,之后到发震表现较为平静,这种变化可能向我们揭示了晚期阶段震中区的孕震过程。

(5) 通过对异常井孔同井水位的分析,发现同井水位的前兆异常并不明显,表层水温与同井水位的动态变化也不相关。

(6) 从同台或邻近台站形变测项的异常相关性分析来看,在表层水温异常的早期和中期阶段,形变测项的异常并不明显,在表层水温异常的晚期阶段(阶变和突变阶段),形变测项异常明显,异常类型表现为固体潮汐形态畸变和低频脉冲,这种低频脉冲

与震中距有一定的关系,远一些的台站如乐都和芦阳台几乎看不到这种变化。地壳形变与表层水温、地磁低点位移异常在4月24日前后的高度相关表明,地壳介质的变形与表层水温、地磁等其它前兆测项的异常可能具有因果关系。综合研究各前兆学科异常在时间上的相关关系,搞清楚震中区前兆测项异常形态的变化特征(如临震阶段的平静是否具有普遍性),对于地震预报研究具有一定的实际意义。

[参考文献]

- [1] 车用太,鱼金子,刘五洲,等.华北北部地区3次强震前地下流体异常场及其形成与演化机理[J].中国地震,1999,15(2):139-150.
- [2] 王长岭,张慧.大震水化参量场兆与源兆判别指标的研究[J].地震,1999,19(2):155-160.
- [3] 刘耀炜.“九五”我国地震地下流体研究的主要科学进展[J].地震,2002,22(4):1-8.
- [4] 张燕,吴云,吕品姬,等.汶川8.0级地震前定点形变异常特征[J].地震学报,2009,31(2):152-159.
- [5] 赵刚,王军,何案华,等.全国地热前兆台网在汶川地震前的异常分析[M].北京:地震出版社,2009:436-444.
- [6] 赵小茂,黄辅琼,王新,等.“集中降雨”与浅层承压井水位及区域地震活动关系的初步研究[J].西北地震学报,2009,31(3):259-264.
- [7] 顾国华,王武星,徐岳仁,等.区域网GPS观测得到的2008年汶川 M_s 8.0地震前的地壳水平运动[J].地震学报,2009,31(6):597-605.
- [8] 王武星,丁鉴海,余素荣,等.汶川 M_s 8.0地震前地磁短临异常与强震预测探索[J].地震学报,2009,31(2):172-179.
- [9] 李华,黄莉菁,许仪西.2007年3月13日福建顺昌4.9、4.7级地震前福建流动地磁观测资料异常分析[J].西北地震学报,2007,29(3):267-270.