

唐杰, 张素欣, 张子广, 等. 河北唐山 M4.5 地震前地下流体典型异常特征分析 [J]. 华北地震科学, 2020, 38(S1): 80-85. doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2020.S1.018.

TANG Jie, ZHANG Suxin, ZHANG Ziguang, et al. Typical anomalies of underground fluid before the 2019 Tangshan M4.5 earthquake feature analysis[J]. North China Earthquake Sciences, 2020, 38(S1): 80-85. doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2020.S1.018.

河北唐山 M4.5 地震前地下流体典型异常特征分析

唐杰, 张素欣, 张子广, 盛艳蕊

(河北省地震局, 石家庄 050021)

摘要: 分析了 2019 年 12 月 5 日河北唐山 M4.5 地震前 200 km 范围内出现的地下流体典型异常特征。结果表明: 异常形态与以往震例异常形态较为一致, 具有明显的重复性, 异常时间进程表现为中期异常、短期异常与临震异常 3 个阶段; 空间上, 异常主要分布在震中距 100 km 范围内, 且与断层分布存在一定关系。综合分析认为, 唐山地震孕育过程主要受区域应力场和本地构造活动的作用。

关键词: 河北唐山 M4.5 地震; 前兆异常; 地下流体; 构造活动

中图分类号: **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-1375 (2020) S1-0080-06

doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2020.S1.018

0 引言

地下流体异常对区域介质活动变化以及区域构造活动都有灵敏的反应^[1]。有地震资料记录以来, 地下流体异常现象在地震前后前兆异常现象中约占 50% 以上^[2]。地下流体监测主要包括水位、水温、水化学等, 在地震监测预报中起着重要的作用, 得到国内外众多学者的认可, 是一种可靠、广泛的前兆观测手段之一^[3-4]。

2019 年 12 月 5 日, 在河北省唐山市丰南区 (39.31°N, 118.04°E) 发生 M4.5 地震, 震源深度 10 km, 除唐山地区外, 北京、天津、雄安等地区震感明显。此次地震发生前, 天津、河北等地区出现多项地下流体典型异常。因此, 研究震前地下流体异常特征, 有利于提高地震预测水平, 提升社会服务能力, 为地下流体异常特征分析提供理论基础。

本文对河北唐山 M4.5 地震前出现的地下流体典型异常进行研究, 总结了震前中期、短临异常特征, 并对唐山地区中强震的前兆机理有了进一步认识。

1 震前地下流体典型异常特征

1.1 发震构造与异常选取

2019 年 12 月 5 日河北唐山 M4.5 地震震中位

于燕山褶皱带与华北平原凹陷带接触部位的唐山菱形块体边缘, 蓟河断裂与宁河-昌黎断裂交汇处, 震中距蓟运河断裂 3.67 km, 距宁河-昌黎断裂 7.33 km (图 1)。蓟运河断裂是燕山山前隆起与沧县隆起的边界断裂, 向东南插入黄骅拗陷, 总体走向 NW50°, 长约 50 km, 倾向 SW, 倾角 70°, 正断层; 宁河-昌黎断裂是燕山山前隆起与黄骅拗陷的边界断裂, 西南起宁河, 向东北伸到昌黎, 总体走向 NE, 倾向 SE, 倾角 35°~50°, 正断层。此次地震震中位于唐山丰南区境内, 前人研究把唐山 M7.8 地震余震区分为卢龙、滦县、唐山和宁河 4 个分区, 此次地震分布于宁河分区^[5]。

2019 年 12 月 5 日唐山 M4.5 地震前地下流体异常特征分析, 首先依据车用太等提出的地下流体前兆异常情况的 4 个判据理论^[6], 对地下流体资料与地震在成因上、空间上、时间上、强度上的相关性进行分析, 排除干扰异常; 其次翻阅全国流体异常核实报告, 在已有前兆异常映震理论下进行研究; 最后在采用上述原则筛选出异常资料的基础上, 利用以下几点原则对资料进行分析: ①无人干扰; ②数据具有明显的连续性; ③测点目前仍在正常观测。按照这些条件严格筛选出可能与此次



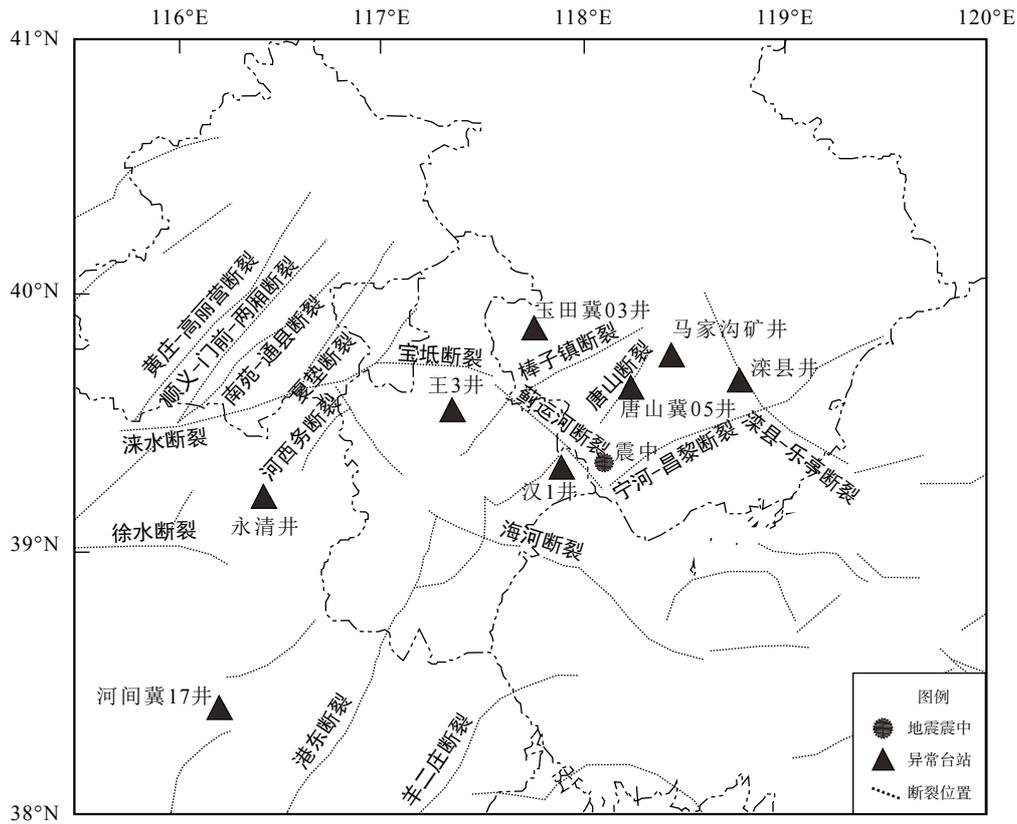


图 1 唐山地震震中及流体异常台站分布图

地震发生有关的地下流体异常台站(图 1), 按照中国震例划分异常标准^[7], 将此次异常分为中期、短期及临震异常分别探讨, 异常基本特征见表 1。

表 1 地下流体异常基本特征表

台站名称	测项	异常开始时间	异常结束时间	异常形态	异常类别	震中距/km
唐山冀05井	水位	2019-01-26	2019-05-22	破年变	中期异常	36
马家沟矿井	水位	2019-01-20	2019-05-02	破年变	中期异常	46
河间冀17井	水位	2018-08-25	—	上升	中期异常	187
玉田冀03井	水位	2019-08-16	2019-09-10	破年变	短期异常	68
永清井	水温	2019-07-21	2019-10-26	趋势转折	短期异常	139
王3井	水位	2019-06-17	2019-09-24	破年变	短期异常	66
汉1井	水温	2019-02-21	--	高值	短期异常	28
滦县井	水温	2019-11-12	2019-11-29	下降	临震异常	72

1.2 地下流体中期异常

1) 唐山冀 05 井水位破年变异常

唐山冀 05 观测井位于燕山褶断带与华北平原沉降带的结合部, NE 向唐山断裂与 NWW 向隐伏断裂于此通过, 观测含水层是奥陶系灰岩, 岩溶裂隙水^[8]。该井水位自 1983 年观测以来, 资料连续性较好, 干扰因素少, 观测环境稳定。

唐山冀 05 井水位异常在 1976 年 7 月 28 日唐山 M7.8、1998 年 1 月 10 日张北 M6.2 地震前出现趋

势转折变化, 在 2010 年 3 月 6 日河北滦县 M4.4、2012 年 5 月 28 日河北唐山 M4.8、2015 年 9 月 14 日河北昌黎 M4.2 等地震前出现破年变异常(图 2)。该井水位受降雨及地下水开采等影响较大, 具有清晰的年变化规律。但从 2013 年以来水位处于该井观测以来的最高水平, 在高值期间水位年变化动态不规律, 2013—2018 年春季水位反向上升或下降时间后移或下降幅度偏小。该井水位在年变不规律背景下, 2019 年 1 月 26 日转折上升幅度较大,

5月22日水位转平,上升幅度约3.3 m(图2),不符合年变动态,破年变异常形态明显。

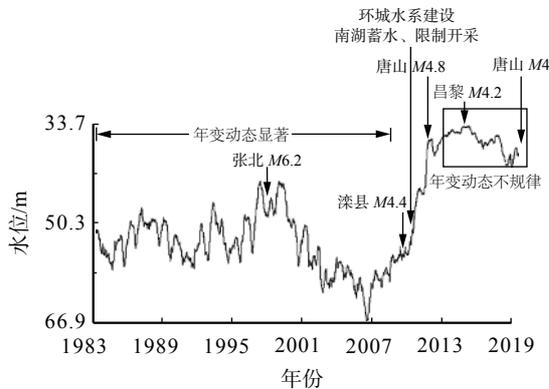


图2 唐山冀05井历史水位变化曲线图

2) 马家沟矿井水位破年变异常

马家沟矿井地处燕山褶断带和唐山断裂带交汇部位,地质构造部位位于开平向斜北缘。该井位于唐山7.8级地震震中NE方向约8 km,地下水类型为厚层岩溶裂隙水,径流条件较好。自1991年观测至今数据连续可靠,2001年数字化和模拟资料同步变化,水位动态受大气降水渗入补给影响,具有清晰的年变化规律。

马家沟矿井水位2019年1月底出现转折上升,截至4月底上升幅度约4.3 m,从年变曲线对比图来看,2019年的变化不符合正常年动态(图3)。



图3 马家沟矿井水位年变化曲线图

3) 河间冀17井水位上升异常

河间冀17井位于冀中拗陷,南马庄断裂带河东古潜山凸起部位,处于冀中拗陷所属的饶阳凹陷、里坦凹陷、沧县隆起所属的大城凸起、献县凸起4个四级构造单元相交接的部位^[9]。观测井深2694.25 m,观测层位2571.25~2694.25 m,含水层岩性为震旦亚界雾迷山组砂质白云岩,地下水类型为岩溶裂隙承压水,高温自流。河间冀17井水位资料齐全,2002年数字化改造后实行模拟、数字并行观测。

河间冀17井处于华北平原带的轴部,是应力易于集中的部位。根据以往震例总结,该井水位异常与邢台老震区和唐山老震区的地震有较好的对应^[10]。2018年8月25日水位大幅上升,上升幅度约0.435 m,出现溢井。检测水化学离子组分结果表明,该井现今与早期的离子组分含量基本一致(图4),排除其他含水层水的混入。溢井后人为调整泄流量,水位下降,之后偶有阶变出现,2019年6月30日调整流量后,水位持续上升,且上升速率较快。地震后,水位仍处于上升变化,未见明显恢复迹象(图5)。

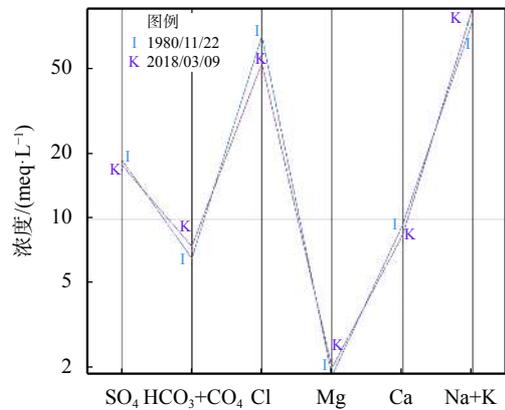


图4 河间井离子组分 Schoeller 图

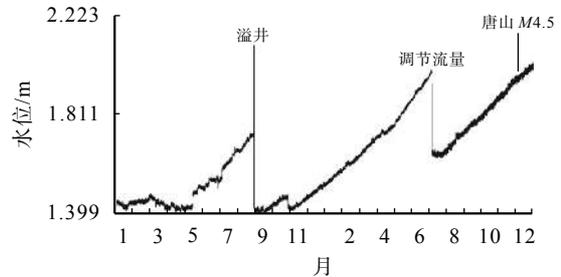


图5 河间冀17井2018—2019年水位变化曲线图

1.3 地下流体短期异常

1) 玉田冀03井水位

玉田冀03井水位构造部位系燕山褶断带林南仓向斜南翼,地面平坦,盖层颗粒较粗,井深456.42 m,观测段深度317.00~456.42 m,含水层岩性为奥陶系灰岩,地下水类型为岩溶裂隙承压水。水位观测资料连续可靠,有较少的数据脉冲,基础资料齐全。

玉田冀03井具有良好的水位年变动态规律,即水位的峰值在9—11月,谷值一般在6月,玉田井个别与降雨不匹配的年份多有中强地震发生。例如:1989年6月在中期上升异常变化背景上,出现转折下降短期异常变化,不久发生10月19日山西

大同 M6.1 地震^[1]。2019 年进入雨季后, 水位呈正常上升变化, 8 月 16 日水位出现转折下降变化, 9 月 10 日变化形态恢复正常, 下降幅度约 1.9 m(图 6)。

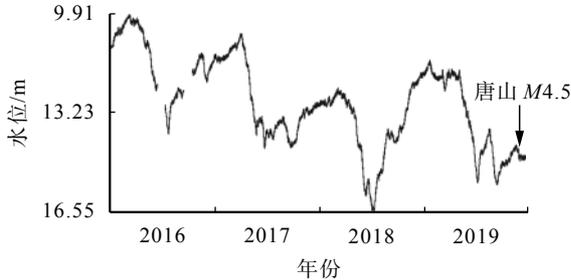


图 6 玉田冀 03 井水位变化曲线图

2) 永清井水温趋势转折异常

永清井位于冀中拗陷北部的牛东断裂带西北侧, 该断裂走向 NE, 该井所在区域是新生代以来的沉降区, 井深 1274.11 m, 观测层深 1065.30~1274.11 m, 含水层岩性为震旦系白云岩, 地下水类型为震旦亚界雾迷山组岩溶承压水, 1996 年之前为自流热水井, 1996 年受地热开采影响井水断流, 断流后改静水位观测。2000 年实施首都圈工程项目, 增加数字化设备。

2017 年 12 月 30 日到 2018 年 1 月 9 日永清井水温快速下降, 幅度约 0.078 °C, 异常形态恢复后第 34 天发生 2018 年 2 月 12 日永清 M4.3 地震。2019 年 7 月 21 日永清井水温快速下降, 幅度约 0.033 °C, 之后缓慢回升, 7 月 26 日快速上升, 幅度约 0.016 °C, 之后呈下降变化, 7 月 29 日基本恢复缓慢下降趋势; 9 月 24 日水温呈转折上升趋势; 10 月 21、26 日分别再次出现快速上升下降变化(图 7)。

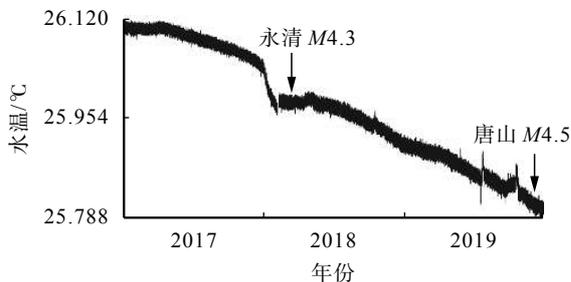


图 7 永清井水温变化曲线图

3) 王 3 井水位破年变异常

王 3 井位于天津宝坻县周良庄镇尹家铺村, 构造位置上位于全新世宝坻断裂南侧, 冀中拗陷北部王草庄凸起潜山带上, 周良庄地热异常区。王 3 井揭露奥陶系灰岩含水层, 总厚度 500~800 m, 以白

云岩、灰岩等碳酸盐岩为主, 地下水类型属岩溶裂隙承压水。2007 年因井区附近 ZL1 井大量地热开采致使该井断流停测, 经改造后于 2010 年 12 月开始水温水位观测。

2012 年唐山 M4.8、2012 年宝坻 M4.0、2012 年宝坻 M3.5、2014 年涿鹿 M4.3、2014 年滦县 M3.6、2016 年唐山 M4.2 以及 2018 年永清 M4.3 地震前, 该井水位均出现显著的破年变异常(图 8)。2018 年 10 月 31 日京津新城 BD-09A、B 井(A 井为开采井、B 井为回灌井)试供暖使用, 开采蓟县系热水供热、使用后热尾水回灌到奥陶系, 即王 3 井观测层。导致王 3 井水位加速上升, 打破水位的正常下降变化趋势, 上升形态与 2015 年 BD-09 井打井时注水干扰形态一致。2018 年 12 月 25 日 BD-09A、B 停止使用, 之后王 3 井水位迅速下降, 恢复正常下降变化形态。然而, 进入 5 月后水位下降速率减缓转平, 6 月 17 日, 水位开始转折上升变化, 至 9 月 24 日, 水位累计上升 1.42 m。9 月 24 日后水位转折恢复下降趋势, 目前水位仍维持下降趋势变化(图 8)。

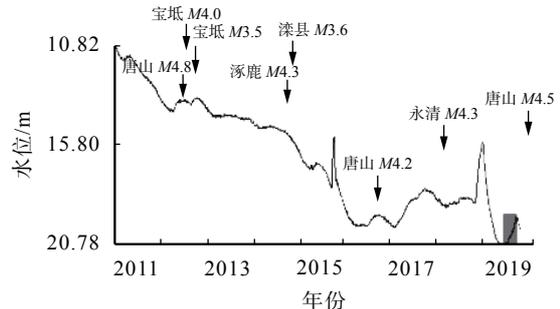


图 8 王 3 井水位变化曲线图

4) 汉 1 井水温高值突跳异常

汉 1 井构造上位于天津北塘凹陷内, 北距汉沽断裂约 11 km, 南距海河断裂约 20 km, 地下水类型为岩溶裂隙承压水。汉 1 井自 2015 年正式观测。根据已有震例, 总结的异常特征及指标为: 汉 1 井水温异常是在其固体潮变化的基础上、短时间内出现畸变现象; 水温畸变次数达到或超过 2 倍标准差的阈值, 即日畸变数量达到 11 次及以上, 同时这种高值变化呈连续出现形态, 则视为异常开始。

2019 年 2 月 21 日, 在汉 1 井水位没有出现异常现象的条件下, 水温出现 14 次大幅度畸变现象。水温从 6 时 15 分的 19.0071 °C 突降到了 6 时 37 分的 19.0001 °C, 突降了 0.007 °C, 之后在小幅波动中变化, 3 月 6 日水温再次出现 14 次大幅度畸变, 最大畸变幅度为 0.0078 °C(图 9)。达到汉 1 井水温固

体潮畸变异常指标。之后也有高值异常出现。地震后这一异常现象未见明显恢复迹象。

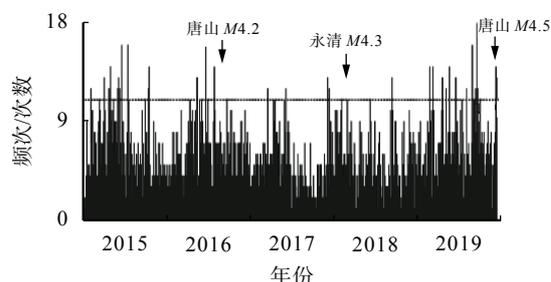


图9 汉1井水温日频次变化曲线图

1.4 地下流体临震异常

滦县井深300 m, 观测段170~195 m, 位于燕山南麓冀东平原东部。含水层为长城系高于庄组硅质白云岩, 岩溶裂隙承压水, 该井无地表水体影响, 受降雨间接影响小。有水位、水温、气象三要素等观测手段。

2019年9月以来, 滦县井水温没有出现干扰的条件下, 水温观测曲线出现缓慢下降变化, 进入11月以来, 水温下降幅度增加, 11月12日水温大幅度下降, 至11月29日恢复, 期间水温累计下降0.01℃(图10)。

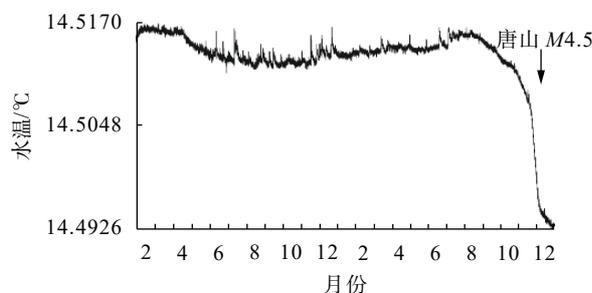


图10 滦县井2018—2019年水温变化曲线图

2 异常特征分析

2.1 形态特征

地下流体异常形态具有多样性, 从历史震例分析来看, 震前异常形态特征具有明显的重复性。从预测理论分析, 应该关注具有代表性、变化幅度大的异常变化^[12]。从本次唐山地震地下流体前兆异常分析可以看出, 唐山地区唐山冀05井、马家沟矿井、玉田冀03井水位在中强地震前多次呈现破年变异常形态^[13]; 天津地区王3井水位在中强地震前也呈现破年变异常形态^[14]; 汉1井水温在地震前表现为连续高值变化的异常形态; 永清井水温在地震

前表现为快速下降的异常形态, 这6项异常在此次唐山M4.5地震前表现出同样的异常特征, 对地震预判具有一定指示意义。河间冀17井水位在以往地震中表现为阶变异常, 但是从2018年5月水位形态转为上升变化, 异常形态与以往异常形态不一致, 由于水位持续上升, 幅度较大, 压制了阶变形态, 水位一直处于持续上升变化, 虽然对应此次唐山M4.5地震, 但异常形态特征及成因需要进一步研究。2018年改造后, 滦县井水温无震例对应, 这是自仪器投入观测以来首次出现异常形态, 异常特征及震例信息有待进一步总结。

2.2 时间特征

从时间特征来看, 此次唐山M4.5地震地下流体异常形态表现出典型的配套性特征^[15], 异常表现为中期异常、短期异常与临震异常3个阶段。异常起始、结束时间具有阶段性特征, 地下流体异常主要以震前1~11个月为主, 河间冀17井异常出现于2018年, 其他异常出现于2019年; 除河间冀17井与汉1井外, 其他异常均在地震前结束。

2.3 空间演化特征

从空间演化特征来看, 此次地震地下流体前兆在空间上的分布具有一定规律性, 主要分布在距震中100 km范围内。震中附近的异常水位均表现为破年变异常。前人对以往震例研究表明, 地震的中短期前兆异常分布方向主要受构造带走向控制^[16]。流体异常井空间分布方位主要以NE向为主, 这与华北地区主要以NE向构造分布有关, 异常受构造带走向控制明显。

3 结论与讨论

本文分析了2019年12月5日唐山M4.5地震前的地下流体异常特征, 得出了以下认识:

1) 从形态上看, 8项异常中有6项表现出的异常特征与以往地震前异常形态较为一致, 具有明显的重复性, 对地震预判有一定指示意义。

2) 从时间上看, 异常出现的时间表为中期异常、短期异常与临震异常3个阶段, 异常起始、结束时间具有阶段性特征。

3) 从空间上看, 异常分布特征具有一定规律性, 主要分布在距震中100 km范围内, 流体异常井空间分布方位与华北地区构造分布较为一致。

唐山地区自1976年唐山M7.8地震后, 余震活动明显, 5级以上地震鲜有发生, 4级地震时有发生, 位置有变化, 不在M7.8地震震中附近, 并呈阶

段性起伏。从总体情况看,唐山老震区的余震序列衰减正常,此次唐山 M4.5 地震震级水平和时间间隔均符合唐山老震区余震活动规律,为唐山 M7.8 地震晚期余震正常表现。此次唐山地震前与 2012 年 5 月 28 日唐山 M4.8 地震前流体异常特征很好地反映了前兆异常具有规律性与复杂性的特点,这与地震之间存在共性与差异性有关^[17]。唐山冀 05 井与马家沟矿井在 2 次地震前均表现出破年变的异常形态^[18]。河间井水位异常形态与以往不符,虽然对应此次唐山 M4.5 地震,但异常形态特征及

成因需要进一步研究;滦县井自 2018 年改造观测后,水温无震例对应,异常形态属于观测以来首次出现的前兆异常特征,异常特征及震例信息有待进一步总结。此次地震的地下流体异常既有短临异常变化,也有中期异常、临震异常变化,具有地下流体地震前兆异常典型的配套性特征,异常可靠性均较高,主要表现为破年变特征。综合以上异常特征分析,结合前人的研究成果认为,唐山地震孕育过程主要受区域应力场与区内北东向构造活动的作用。

参考文献:

- [1] 车用太, 鱼金子. 地下流体的源兆、场兆、远兆及其在地震预报中的意义 [J]. 地震, 1997, 17(3): 283-289.
- [2] 汪成民. 中国地震地下水动态观测网 [M]. 北京: 地震出版社, 1990.
- [3] Montgomery D R, Manga M. Streamflow and water well responses to earthquakes [J]. Science, 2003, 30: 2047-2049.
- [4] Wang C, Manga M. Earthquakes and water [M]. Springer Berlin Heidelberg. 2010.
- [5] 刘蒲雄, 吕晓健. 唐山地震序列空间分布复杂性原因研究 [J]. 地震, 2011, 31(4): 1-14.
- [6] 车用太, 鱼金子, 刘成龙, 等. 判别地下水异常的干扰性与前兆性的原则及应用实例 [J]. 地震学报, 2011, 33(6): 800-808.
- [7] 蒋海昆. 中国震例 (2003—2006) [M]. 北京: 地震出版社, 2014.
- [8] 张素欣, 杨卫东, 张子广. 唐山矿井模拟与数字水位的记震能力对比分析 [J]. 西北工程学报, 2007, 29(2): 170-173.
- [9] 万迪堃, 贾化周, 董守玉, 等. 河间井映震能力与异常机理探讨 [J]. 地震, 1990(3): 13-19.
- [10] 曹新来, 薛经, 王贺生, 等. 地下水动态趋势和短临异常 [J]. 地震, 2002, 22(1): 97-103.
- [11] 平建军, 张子广, 陈建国, 等. 华北地区地下流体的两类短期前兆异常 [J]. 西北地震学报, 2003, 25(3): 253-257.
- [12] 张立. 汶川地震中云南地区地下流体典型前兆异常 [J]. 地震地磁观测与研究, 2010, 31(6): 40-44.
- [13] 张子广, 张素欣. 玉田井水位动态分析 [J]. 地震, 2000, 20(4): 87-91.
- [14] 马建英, 刘学领, 李君英. 河北文安 5.1 级地震前天津地区地下流体异常特征 [J]. 地震, 2008, 28(1): 75-80.
- [15] 刘耀炜, 陈华静, 车用太, 等. 我国地震地下流体观测研究 40 年发展与展望 [J]. 国际地震动态, 2004(7): 3-12.
- [16] 车用太, 鱼金子, 刘五州, 等. 华北北部地区 3 次强震前地下流体异常场及形成与演化机理 [J]. 中国地震, 1999, 15(2): 139-150.
- [17] 张国民, 张晓东, 吴荣辉, 等. 地震预报回顾与展望 [J]. 国际地震动态, 2003(5): 39-53.
- [18] 张跃刚, 王玉珍, 尹宝军, 等. 2012 年 5 月 28 日河北省唐山 4.8 级地震 [J]. 中国地震, 2013, 29(2): 219-229.

Typical anomalies of underground fluid before the 2019 Tangshan M4.5 earthquake feature analysis

TANG Jie, ZHANG Suxin, ZHANG Ziguang, SHENG Yanrui
(Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang 050021, China)

Abstract: This paper analyzes the typical abnormal characteristics of underground fluid within 200km before the M4.5 earthquake in Tangshan, Hebei Province on December 5, 2019. The results show that the anomaly pattern is consistent with that of the previous cases, and has obvious repeatability. The anomaly time process includes three stages: medium-term anomaly, short-term anomaly and impending earthquake anomaly. Spatially, the anomaly is mainly distributed within 100 km of epicenter distance, and has a certain relationship with fault distribution. The comprehensive analysis shows that the seismogenic process of Tangshan earthquake is mainly affected by regional stress field and local tectonic activity.

Key words: Hebei Tangshan M4.5 earthquake; precursory anomaly; underground fluid; tectonic activity