

2014年安徽霍山 $M_{4.3}$ 地震异常特征及预测过程总结^{*}

王 俊^{1,2}, 王行舟¹, 周振贵¹, 李军辉¹, 何 康¹, 郑海刚¹, 王雪莹¹, 徐如刚¹

(1. 安徽省地震局, 安徽 合肥 230031; 2. 大别山地震监测预报实验场, 安徽 六安 237000)

摘要: 对2014年4月20日安徽霍山 $M_{4.3}$ 地震前地震预测意见和预测依据进行了回顾总结。自2013年10月开始, 安徽地区小震活跃, 相继出现地震条带、地震频度、“霍山地震窗”开窗等3项地震学异常; 前兆异常位于震中200 km范围内, 包括流动重力、流动地磁, 蒙城台地电阻率、肥东台定点短水准、地下流体等13项。中期阶段, 前兆异常月频次不断增加, 具有协调性特征; 短临阶段, 中期异常趋于结束或测值反向, 地下流体异常突出, 且异常由外围逐渐向震中迁移; 临震阶段, 异常月频次转折下降。由此可见, 霍山地震前异常特征明显, 时间上具有阶段性、协调性特征; 空间上具有迁移性特征, 异常形态具有重复性特征, 为地震三要素预测提供了较好的依据。

关键词: 地震预测; 霍山 $M_{4.3}$ 地震; “霍山地震窗”; 地震前兆

中图分类号: P315.75

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2019)03-0349-09

0 引言

地震预报是世界性科学难题, 尤其是短临预报目前依然困难, 因此, 不断积累震例资料、探索地震预报的可能性, 是一代又一代地震工作者孜孜不倦追求的目标(付虹等, 2013)。地震是地球构造活动的产物, 涵盖着地球深部的应力应变状态及地下介质变化状态的丰富信息。地震孕育过程的不同阶段可能有着不同的异常表征, 所以在日常震情跟踪中, 有可能根据观测到的异常信息特征进行阶段性预测预报(付虹等, 2007)。如1966年河北邢台地震(林邦慧, 2017)、1975年辽宁海城地震(马宗晋等, 2008; 高建华, 2011)、2013年四川芦山地震(曾佐勋, 王杰, 2013)以及2014年云南鲁甸地震(付虹, 倪喆, 2017)等的预测, 主要是发现了地震前某一显著异常特征, 并结合以往经验进行了共性组合。可见现阶段不断找寻地震前异常的共性、显著特征, 是可能实现地震预报的重要途径之一(付虹等, 2013)。张国民等(2005)对1966—2001年中国大陆发生的100多个震例进行综合分析, 认为前兆异常是有地区性的, 同时具有规律性和复杂性。

因此, 不断总结每次地震前所观测到的地震活动、前兆异常, 丰富震例资料, 对于提升地震孕育过程的认知是有益的。

2014年4月20日16时, 在安徽省六安市霍山县(31.40°N , 116.10°E)发生了 $M_{4.3}$ 地震(以下简称“霍山 $M_{4.3}$ 地震”), 震源深度10 km。该地震发生在安徽省地震局判定的2014年度 $M_{4.0}$ ~ 5.0 地震危险区内, 震前短临阶段, 安徽省地震局进一步给出了地震危险性的预测预报意见。本文对霍山 $M_{4.3}$ 地震前的异常判定依据(地震学异常、前兆学异常)进行回溯性分析, 真实地记录地震前的异常和科学认知, 以期为今后该地区的地震预测提供参考。

1 地震学异常

1.1 地震条带异常

2013年10月以后, 安徽省霍山至固镇地区地震活动显著增强, 形成了 $M_L \geq 2.3$ 地震条带(图1), 该条带形成时间短, 其展布与郯庐断裂带走向(NE向)具有一致性, 安徽省地震局分析认为其信度较高, 并根据这一判据指标认为, 在未来1年内,

^{*} 收稿日期: 2019-01-28.

基金项目: 中国地震局震情跟踪课题《苏皖交界北部井水位群体性异常跟踪分析》(2019010306)资助。

该条带两端或附近地区可能发生 4.3 ~ 5.3 级地震，霍山 $M4.3$ 地震就发生在该条带的西南端。

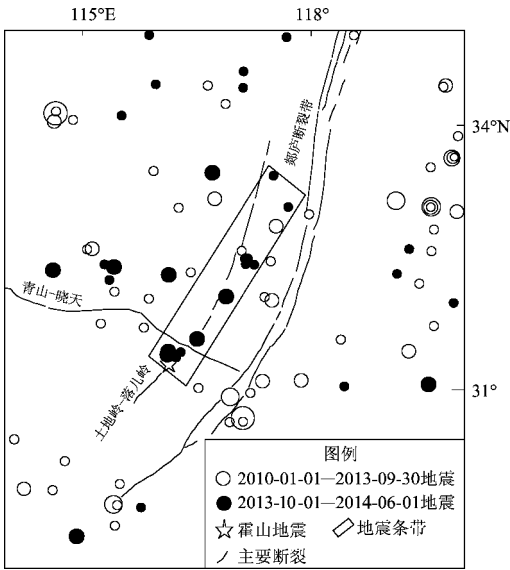


图 1 霍山 $M4.3$ 地震前 $M_L \geq 2.3$ 地震条带异常空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of seismic strip anomalies of $M_L \geq 2.3$ earthquakes before Huoshan $M4.3$ earthquake

表 1 安徽省 $M \geq 1.5$ 地震年累积频次异常与地震对应关系

Tab. 1 Correlation relationship between monthly accumulated frequency anomaly and $M \geq 1.5$ earthquakes in Anhui province

序号	异常起止日期	频次峰值	对应地震
1	1995 - 10 - 01—1996 - 03 - 30	26	1995 年 9 月 20 日苍山 $M5.2$
2	1996 - 04 - 01—1996 - 09 - 30	26	1996 年 11 月 9 日南黄海 $M6.1$
3	1997 - 01 - 01—1997 - 03 - 30	22	1997 年 7 月 28 日黄海 $M5.1$
4	1999 - 08 - 01—2000 - 09 - 30	30	1999 年 12 月 30 日安徽利辛 $M4.1$
5	2002 - 05 - 01—2002 - 12 - 30	25	2002 年 7 月 14 日、8 月 29 日安徽霍山先后发生 $M3.5$ 、 $M3.5$
6	2005 - 07 - 01—2006 - 04 - 30	27	2005 年 11 月 26 日江西九江 $M5.7$ ；2006 年 7 月 26 日安徽定远 $M4.2$
7	2009 - 09 - 01—2010 - 03 - 31	23	2011 年 1 月 19 日安徽安庆 $M4.8$
8	2013 - 10 - 01—2014 - 10 - 31	36	2014 年 4 月 20 日安徽霍山 $M4.3$

表 2 地震前“霍山地震窗”开窗情况统计

Tab. 2 Statistics on the opening of Huoshan earthquake window before earthquake

序号	开窗日期	开窗峰值日期	发震日期	震级	对应地震	震中距/km
1	1995 - 03—1995 - 12	1995 - 05	1995 - 04 - 15	4.5	江西瑞昌	205
2	1995 - 03—1995 - 12	1995 - 05	1995 - 09 - 20	5.2	山东苍山	437
3	1996 - 05—1996 - 05	1996 - 05	1996 - 11 - 09	6.1	南黄海	649
4	1999 - 07—1999 - 12	1999 - 01	1999 - 12 - 30	4.1	安徽利辛	220
5	2001 - 07—2001 - 07	2001 - 07	2002 - 07 - 14	3.5	安徽霍山	15
6	2002 - 08—2002 - 11	2002 - 09	2002 - 08 - 29	3.5	安徽霍山	14
7	2005 - 05—2005 - 06	2005 - 05	2005 - 11 - 26	5.7	江西九江	189
8	2006 - 06—2006 - 08	2006 - 07	2006 - 07 - 26	4.2	安徽定远	184
9	2010 - 10—2010 - 12	2010 - 11	2011 - 01 - 19	4.8	安徽安庆	111
			2011 - 06 - 17	3.6	安徽桐城	79
10	2013 - 10—2014 - 03	2013 - 12	2014 - 04 - 20	4.3	安徽霍山	7

2 前兆异常

霍山 M4.3 地震前出现多项前兆异常变化，空间上，集中在 200 km 范围内（图 2），进入临震阶段，由外围不断向震中迁移。时间上，中期、短期及临震异常相互配套：在中期阶段，先后出现地下流体、地形变、地球物理场及地

电阻率等不同学科、相互配套的前兆异常变化；进入短临阶段，地下流体异常尤为突出，水位、水温、水化学测项出现同步异常变化；临震阶段，霍山 33 井水位、水温呈同步突升异常变化特征，这些异常在时间进程中表现为配套性和阶段性特征。

2.1 中期趋势异常

2.1.1 水位异常

霍山 M4.3 地震前 2 项水位中期异常均呈趋势上升状态（图 3）。所有中期异常中水位异常出现最早，如 2011 年安庆地震后，定远 04 井水位上升速率再次减小，根据以往震例，在该井周边中等地震前水位上升速率减小（王俊等，2018），地震后上升速率逐渐恢复（图 3a）。巢湖 14 井水位在震前趋势上升变化尤为明显，该井具有清晰的年变动态，每年 1—6 月上升、7—12 月下降，但 2013 年 7 月该井水位不降反而持续上升直至发震，震后水位突降至上升前水平（图 3b）。

2.1.2 地电阻率异常

蒙城台地电阻率 3 个方向年变规律强，其中 NS 和 NE 方向在每年的 7—8 月达到极小值，但 2013 年 7—10 月蒙城台地电阻率 3 个方向与往年同时期相比数据偏高，NS 和 NE 方向出现明显破年变异常，EW 方向出现了近 20 年来最高值，异常最大幅度达到 0.8%，在异常恢复 5 个月后发现霍山 M4.3 地震（图 4）。

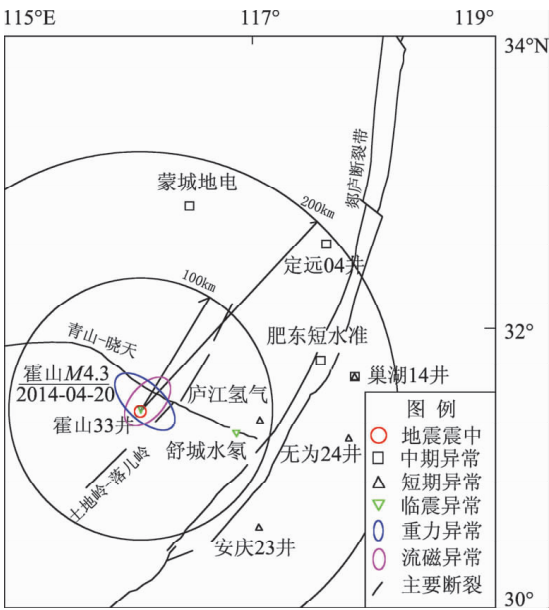


图 2 霍山 M4.3 地震前兆异常分布图
Fig. 2 Map of precursor anomalies of Huoshan M4.3 earthquake

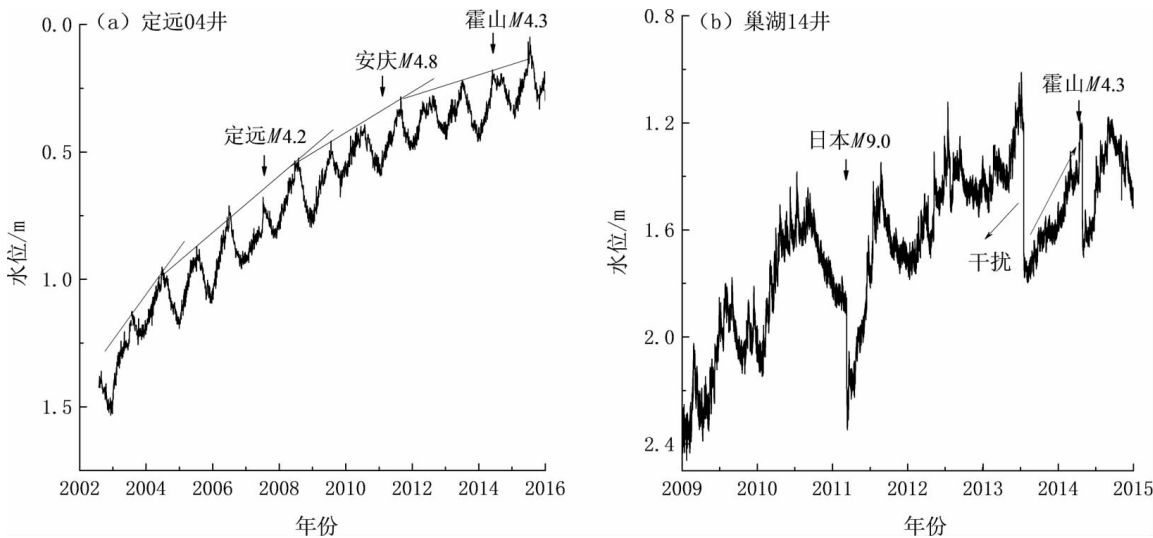


图 3 霍山 M4.3 地震前水位中期趋势异常特征曲线
Fig. 3 The mid-term anomaly characteristic curve of water level before Huoshan M4.3 earthquake

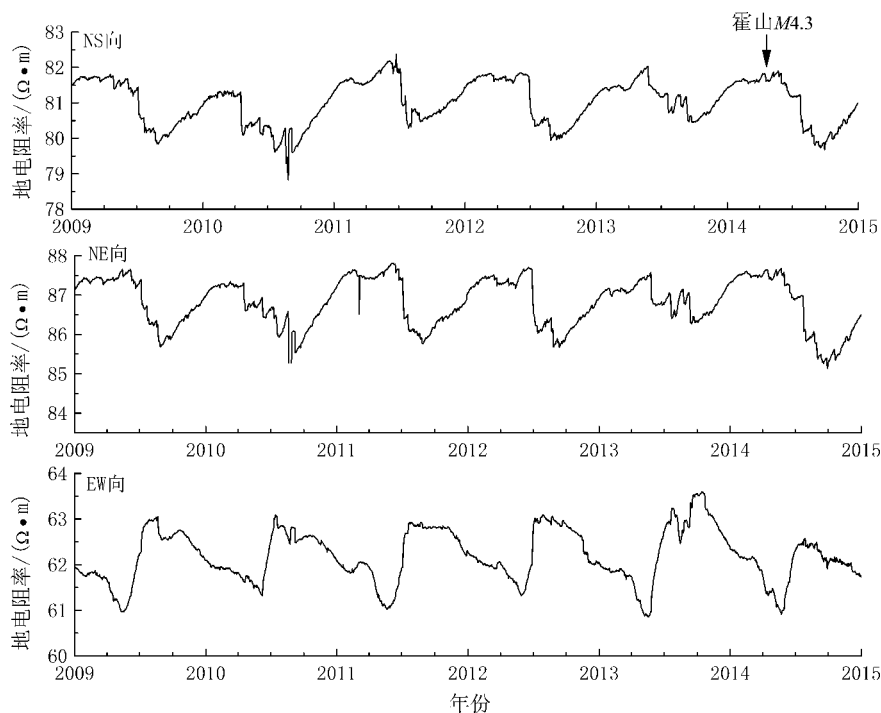


图4 霍山 M4.3 地震前后蒙城台 3 个方向地电阻率变化曲线

Fig. 4 The ground resistivity curve recorded by Mengcheng station in three components before and after Huoshan M4.3 earthquake

2.1.3 地形变异异常

霍山 M4.3 地震前, 出现肥东台定点短水准趋势分别转平异常, 金寨—霍山一带的流动地磁、流动重力差分动态异常变化。这些异常在空间上, 呈现出由外围向震中不断迁移的特征。

肥东台定点短水准测线横跨郯庐断裂带的池河—西山驿断裂, 1985 年开始观测, 观测环境较好。根据以往震例, 肥东定点短水准测值趋势转折前后, 安徽及邻区可能发生显著地震 (图 5a), 2011 年安庆 M4.8 地震后, 其转折异常仍未恢复, 之后数值出现反向变化, 在此过程中发生了霍山 M4.3 地震。流动重力梯度带部位, 容易产生剪切应力, 易发生地震 (徐如刚等, 2011); 流动地磁异常梯级带与深部构造、地震之间存在着相互关系 (吴伟奇, 2001; 王青华等, 2017)。2013 年 5 月至 2014 年 5 月在霍山及邻区流动地磁 (图 5b)、流动重力 (图 5c, d) 差分动态变化结果显示在金寨—霍山、安庆—池州形成了 2 个异常区域。中期阶段在震中的南侧、北侧出现重力场梯度带异常, 进入短临阶段, 在震中附近出现明显梯度带特征。

付虹等 (1997) 在研究云南地区的强震后,

认为这种中期异常在短临阶段趋于结束或测值反向是强震进入短临阶段的基本特征。而在本次地震中, 个别中期异常在震前 1 个月趋于结束, 如巢湖 14 井水位; 部分异常在临震阶段出现测值转向变化, 如肥东台定点短水准在震前出现转折下降变化, 这种特征可能也是中强震短临阶段的基本特征之一。

2.2 短临异常

霍山 M4.3 地震前 1~6 个月出现的异常为短期异常, 震前 1 个月内出现的异常属于临震异常。一般认为获取短临异常, 特别是临震异常是预测地震发生时间的有效手段 (刘耀炜等, 2004; 王俊等, 2018), 而本次地震前短临异常有 7 项 (异常占比 53.8%), 且均为地下流体异常。其中, 短期异常有安庆 23 井水位、巢湖 14 井水温、无为 24 井水温及庐江台氢气, 临震异常有舒城水氢、霍山 33 井水位、霍山 33 井水温。在空间分布上具有一定规律性, 即震中外围的水温异常表现为下降, 震中附近的水温异常表现为突升, 而且震中 100 km 范围的所有异常均为突升变化, 这可能是受区域应力场的统一作用。从空间发展来看,

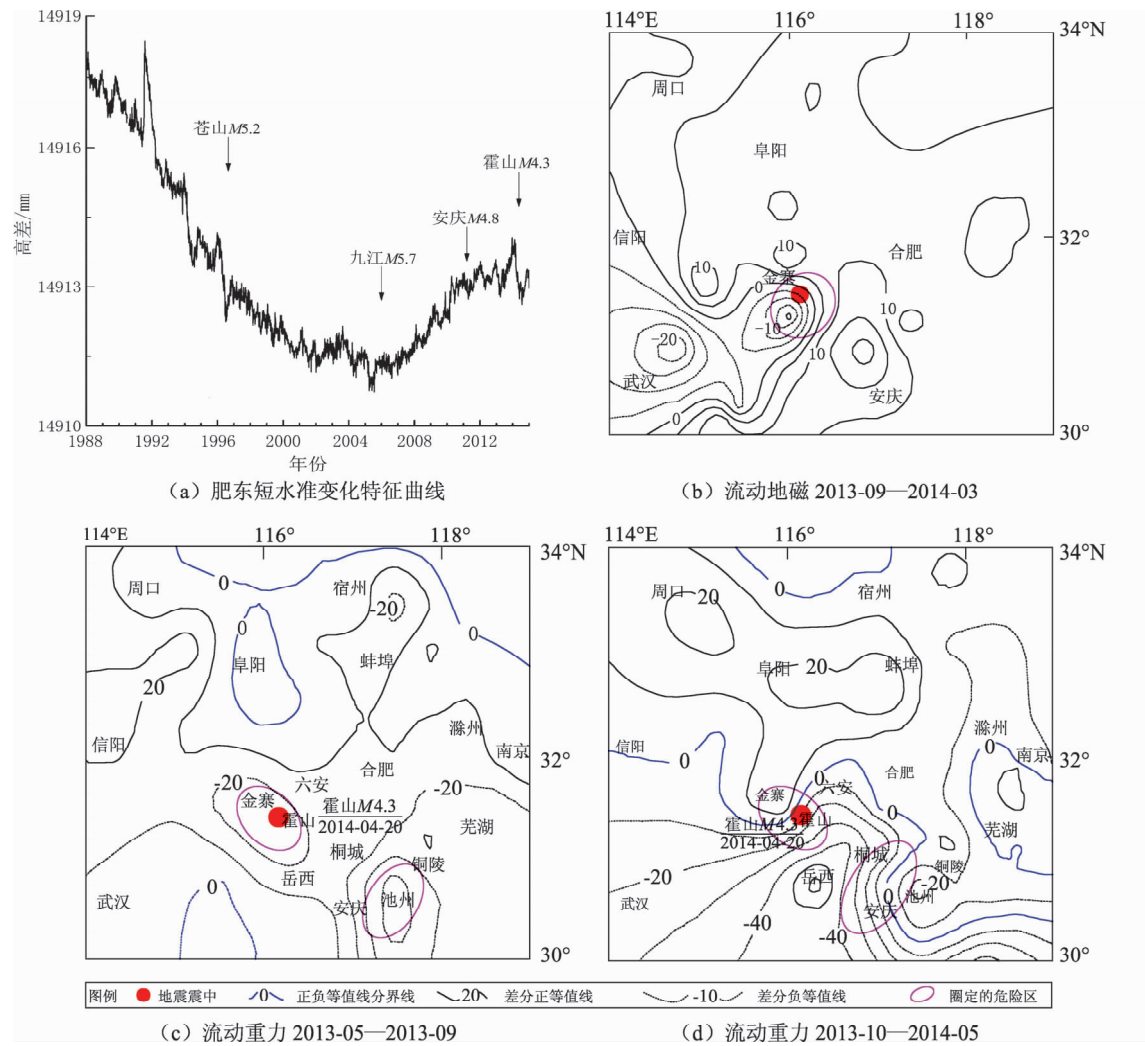


图 5 霍山 M4.3 地震前肥东水准变化曲线与地球物理场差分异常图

Fig. 5 The level curve of Feidong station and differential anomaly map of geophysical field before Huoshan M4.3 earthquake

异常具有从外围不断向震中附近迁移的协调性特征。在时间进程中，具有水物理、水化学测项异常的配套性和异常月频次的加速、转折下降的阶段特征，震前 1.5 个月，异常月频次出现加速性特征，进入临震阶段，短期异常结束，异常月频次出现转折下降，这一阶段性特征是本次地震前作出短临预测的重要依据。

2.2.1 短期异常

(1) 安庆 23 井水位低值异常

安庆 23 井具有规则的年变动态，每年 1—7 月水位上升，8—12 月下降，水位年正常变幅在 35 ~ 68 cm，而 2013 年 7 月开始水位持续下降，与以往同期相比，2013 年水位明显偏低（图 6a），水位年变幅达到 73.8 cm，在水位转折上升恢复过程中

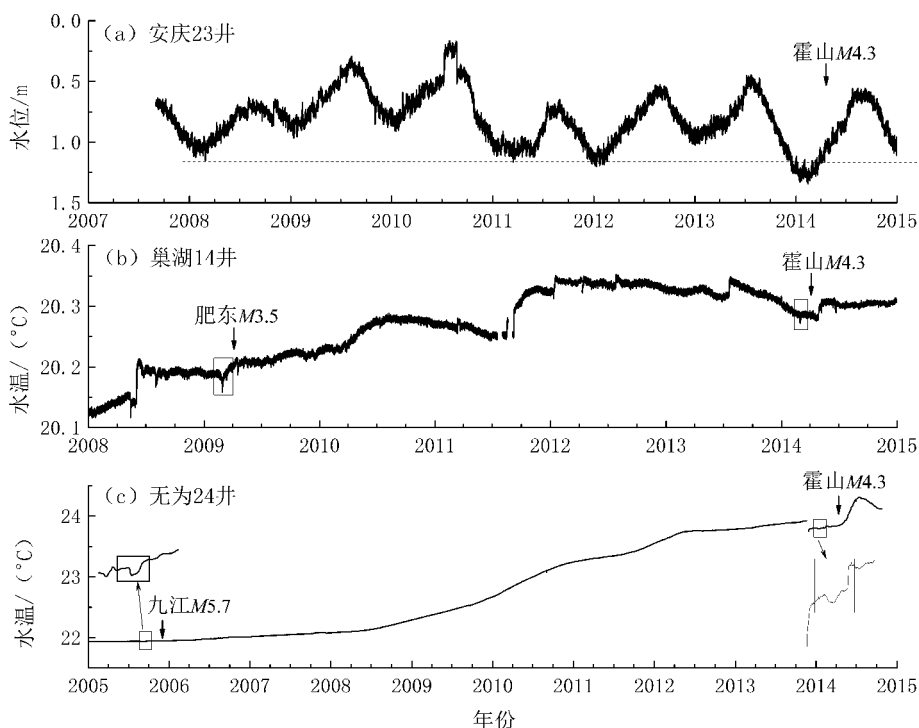
发生霍山地震。

(2) 巢湖 14 井水温和无为 24 井水温下降异常

位于震中外围（100 ~ 200 km）的巢湖 14 井、无为 24 井水温均表现为下降异常特征，时间上同步，空间上接近（图 2）。巢湖 14 井、无为 24 井水温于 2014 年 2 月，分别出现“V”型和“U”型突降变化，变化幅度分别为 0.018℃和 0.008℃，之后有水温上升恢复过程中发生霍山地震（图 6b, c）。

(3) 庐江台溶解氢气突升异常

氢气具有较强的映震灵敏性，特别是在短临阶段的映震能力明显优于其它气体测项，是地震短临预测预报的重要手段之一（张培仁，王基华，1993；车用太等，2002；刘耀炜等，2006）。自 2013 年 7

图6 霍山 $M_{4.3}$ 地震前地下流体短期异常曲线Fig. 6 The short-term abnormal curves of unground fluid before Huoshan $M_{4.3}$ earthquake

月1日以来,庐江台氢气数据总体变化平稳,但2014年1月20日出现氢气突升变化,变化幅度达到0.05%,至2014年2月28日恢复突升前水平(图7a)。该突升异常可能反映了来自深部的氢气浓度增大,表明了该区域存在一定的构造活动,时间上可能进入临震阶段。

2.2.2 临震异常

(1) 舒城台水氡

舒城地震台自2007年开始进行水氡观测,多年来水氡总体变化较为平稳,但2014年3月28日水氡出现突升变化,观测值由118 Bq/L突升至165 Bq/L,幅度达39.8%,霍山地震后,水氡逐渐恢复(图7b)。时间上,与庐江氢气异常变化较为同步,空间上二者均位于庐江断裂带南段西侧(图2)。

(2) 霍山33井水位、水温

霍山33井位于本次地震的震中,2014年3月26日该井水位突升6.5 cm,4月20日15时水位再次突升,至霍山 $M_{4.3}$ 地震发生时,达到最大值(约66 cm);水温同步突升,变化幅度为0.009 °C,震后水位、水温逐步下降恢复。其异常形态与2015年安徽阜阳 $M_{4.3}$ 地震前类似(图7c, d)。

3 地震跟踪预测过程

3.1 跟踪过程

根据上述各项异常,安徽省地震局在2013年10月中下旬召开2014年度地震趋势会商时明确提出,2014年度安徽省存在发生 $M_{4.5}$ 左右地震的可能,重点关注霍山地区。2014年2—3月,安徽省地震局根据2014年以来安徽及邻区小震异常活跃、前兆异常状态等现象,召开了专题震情研讨会,认为短期内安徽地区存在发生中地震的可能;2014年4月,根据前兆异常的进一步发展态势,特别是出现的显著地下流体异常、异常月频次转折下降及“霍山地震窗”开窗等异常现象,安徽省地震局认为地震危险性进一步增强,结合地震地质背景,认为近期霍山及附近地区(中心点为 31.8°N , 116.2°E ,预测半径50 km)存在发生 $M_{4.5}$ 左右地震的可能,并于4月18日填报了为期3个月的短临预测卡。因震前上报了安徽省人民政府,在4月20日16时霍山 $M_{4.3}$ 地震发生后,安徽省人民政府快速开展地震应急工作,积极应对,快速稳定了民心,这次地震预测预报取得了良好的社会效益。

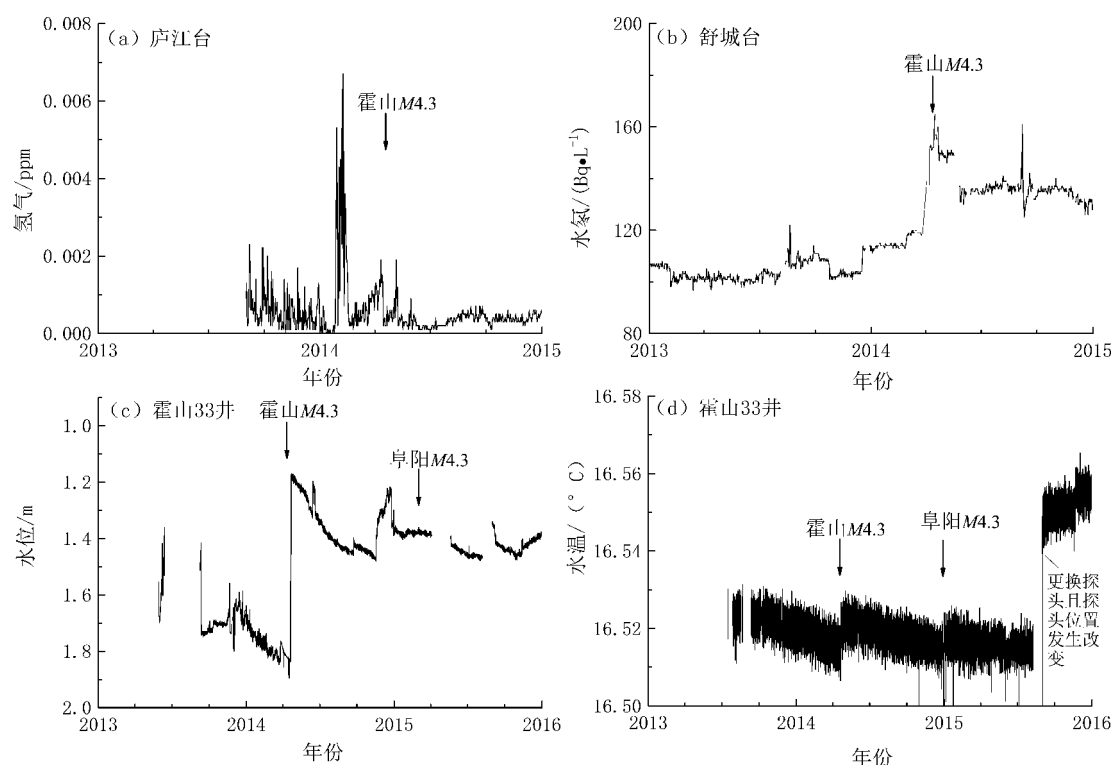


图7 霍山 M4.3 地震前地下流体短临异常时间曲线

Fig. 7 The short impending abnormal time curves of unground fluid before Huoshan M4.3 earthquake

3.2 三要素预测

对震前异常的跟踪分析对地震三要素的预测提供了很好的判据。地震条带、地球物理场以及异常由外围不断向震中迁移的空间演化特征,为发震地点的判定提供了依据;地震频度、“霍山地震窗”、前兆中期异常提供了震级判定依据;多种异常发生转折反向变化或趋于结束,异常月频次出现加速下降,多项地下流体出现显著协调性异常,特别是时间进程上的中、短、临的配套性为本次地震的短临预测提供了重要支撑,也为该地区今后的地震预测提供了借鉴。

4 结论

对2014年4月20日安徽霍山 M4.3 地震前地震异常判定依据和地震预测过程进行回顾总结,得到以下结论:

(1) 霍山 M4.3 地震短临预测预报正确,主要有以下两方面的因素,一是认真总结了以往地震中观测到的地震学和前兆学异常现象,提炼出了具有较好预测意义的异常指标;二是地震前,

地震活动性特征明显,前兆中、短、临异常过程清晰,且出现的多数异常具有震例,即遵循了该地区地震发生的一般规律,表明以往总结的异常特征具有重复性。

(2) 霍山地震前,水物理、水化学测项的预报效能较好,震中的水位、水温临震异常显著,靠近震中水化学测项短临异常突出。定点形变、电磁异常较少,这可能与监测点位分布有关。震中附近开展了多期的地球物理场观测,在本次地震前也获得了明显的异常变化特征信息,为地点的预测提供了重要的依据。因此,合理布设观测点,增设具有较好预报效能的观测手段,综合观测,是提升地震分析预报水平的重要环节。

(3) 多种形态的中短期异常测值反向或结束,流体突变异常增多,这一特征与云南强震前有相似之处(付虹等,1997),可能表明某些地震孕育过程有相同之处。从该地震的短临异常看,地下流体的短临异常最多,特别是水温和水化学异常,因此,今后应该重点关注出现的突变短临异常信息。

(4) 虽然这只是一次 M4.3 地震,但异常特征

的配套性、协调性为地震预测提供了有效途径,不断积累有观测资料的不同震级的震例,对提升地震孕育复杂性的认知无疑是有益的,同时也为少震区的中等地震预测提供了借鉴。

在本文撰写过程中,安徽省地震局姜薇薇工程师提供了相关资料,在此向她表示衷心感谢。

参考文献:

- 车用太,金鱼子,张培仁,等. 2002. H₂ 和 He 的映震灵敏气体及其干扰初析[J]. 地震,22(4):94-103.
- 付虹,陈立德,罗平,等. 1997. 1995 年 7 月 12 日云南孟连中缅边界 7.3 级地震中短临预报及前兆异常特征[J]. 地震研究,20(4):345-355.
- 付虹,倪喆. 2017. 从云南地震预报实践探讨中短期预测的新途径[J]. 国际地震动态,(6):2-3.
- 付虹,钱晓东,苏有锦,等. 2013. 2012 年 9 月 7 日彝良 5.7、5.6 级地震预测及科学依据[J]. 地震研究,36(2):141-147.
- 付虹,王世芹,秦嘉政,等. 2007. 2007 年 5~6 月滇西南地区 $M \geq 5$ 成组地震活动中、短临异常特征及预测[J]. 地震研究,30(4):304-310.
- 高建华. 2011. 海城地震之鉴:人类历史上首次成功预报 7 级以上大震[J]. 地球,(4):140-142.
- 林邦慧. 2017. 运用“密集-平静-大震”特点成功预测 1966 年邢台 M6.2 强余震纪念 1966 年邢台强震 50 周年[J]. 地震地磁观测与研究,38(1):1-6.
- 刘耀炜,曹玲玲,平建军. 2004. 地下流体短期异常典型特征分析[J]. 中国地震,20(4):372-379.
- 刘耀炜,陈华静,车用太,等. 2006. 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,(7):3-12.
- 马宗晋,吴琼,刘慧敏. 2008. 1975 年海城地震较成功预报的经验和教训[J]. 中国应急管理,(6):18-23.
- 缪鹏,王行舟,洪德全,等. 2014. “霍山震情窗”动力学背景及预测意义分析[J]. 中国地震,30(4):534-542.
- 王俊,缪阿丽,李军辉,等. 2018. 2011 年安徽安庆 M4.8 地震前苏、皖典型前兆异常特征分析[J]. 地震研究,41(4):568-576.
- 王青华,陈政宇,张忠龙,等. 2017. 2014 年鲁甸 6.5 级地震相关断裂的岩石圈磁异常分析[J]. 地震研究,40(3):377-381.
- 吴伟奇. 2001. 湖南省重磁异常特征与地震活动关系[J]. 地震研究,24(1):29-35.
- 徐如刚,张毅,顾春雷. 2011. 安庆 5.2 级地震震前区域重力场动态变化特征[J]. 国际地震动态,(11):21-25.
- 曾佐勋,王杰. 2013. 芦山地震:一个成功的中期预测案例[J]. 地学前缘,20(3):21-24.
- 张国民,张晓东,吴荣辉,等. 2005. 地震预报回顾与展望[J]. 国际地震动态,(5):39-53.
- 张培仁,王基华. 1993. 氢-预报地震的元素[J]. 地震地质,15(1):69-77.
- 郑兆苾,庆梅,李敏莉. 1999. 霍山窗与华东中强震关系研究[J]. 地震学刊,(2):1-9.

Earthquake Precursory Anomaly Characteristic and Summary of Prediction Process of Anhui Huoshan M4.3 in 2014

WANG Jun^{1,2}, WANG Xingzhou¹, ZHOU Zhengui¹, LI Junhui¹, HE Kang¹,
ZHENG Haigang¹, WANG Xueying¹, XU Rugang¹

(1. Anhui Earthquake Agency, Hefei 230031, Anhui, China)

(2. Dabie Mountain Earthquake Monitoring and Prediction Laboratory, Liu'an 237000, Anhui, China)

Abstract

Through reviewing and summarizing the opinions and basis of earthquake prediction before the Huoshan M4.3 earthquake on Apr. 20, 2014 in Anhui Province, we found the following results: Small earthquakes have been active in Anhui area, and three seismological anomalies, including seismic band, seismic frequency and window opening of Huoshan earthquake, have appeared successively since Oct. , 2013. The precursory anomalies are located within 200 km of the epicenter, including 13 items, such as mobile gravity, mobile geomagnetic, ground resistivity at Mengcheng station, short level at Feidong station and underground fluid etc. . In the mid-term phase, the monthly frequency of precursory anomalies is increasing continuously and has the characteristics of coordination. In the short-term and impending phase, the mid-term anomalies tend to end or the measured value is reversed, the underground fluid anomalies are prominent, and the anomalies gradually migrate from the periphery to the epicenter. Entering the impending phase, the monthly frequency of anomalies turns down. It follows that the anomalies were obvious before the huoshan earthquake, and precursory anomalies have the characteristics of stage and coordination in time; and the space is characterized by movement; and the abnormal morphology is characterized by repeatability. It provides a good basis for the prediction of the three elements of the earthquake.

Keywords: earthquake prediction; Huoshan M4.3 earthquake; earthquake window; earthquake precursor