

张杰卿,刘双庆,孙路强,等. 2014 年 9 月 6 日河北涿鹿 4.3 级地震分析[J]. 华北地震科学,2015,33(2):36-40,47.

2014 年 9 月 6 日河北涿鹿 4.3 级地震分析

张杰卿,刘双庆,孙路强,李 赫

(天津市地震局,天津 300201)

摘要:2014 年 9 月 6 日河北涿鹿发生 4.3 级地震,该地震发生在延怀盆地的延矾断裂带上,打破了延怀盆地及其周边(39.8°~41.0°N,114.1°~116.1°E)自 2005 年 8 月 31 日河北蔚县 3.4 级地震后长达 9 年的 $M_L \geq 4.0$ 地震平静,是一个非常值得关注的显著地震事件。从该地震的地质背景、地震序列、震源机制及视应力、地震活动性等方面进行分析,结果表明:地震的主破裂面走向与延矾断裂带走向一致,错动方式以走滑为主,地震序列是主震—余震型。根据以前震例的总结分析认为,此次地震的发生对后续华北地区中强地震具有一定的指示意义。

关键词:涿鹿地震;延怀盆地;显著地震;震例回溯

中图分类号:P315.71 **文献标志码:**A **文章编号:**1003—1375(2015)02—0036—05

doi:10.3969/j.issn.1003—1375.2015.02.008

0 引言

2014 年 9 月 6 日河北省涿鹿县发生 4.3 级地震,虽然震级不大,但影响范围较大,北京、天津、河北等地均有震感。据河北省地震台网测定,震中位于 40.28°N,115.43°E。涿鹿地震发生在北京西北的延怀盆地中,发震构造正好位于延庆—矾山盆地北缘断裂的 2 条分支的交汇处(图 1)。1995 年此处曾发生过 3.6 级地震,9 个月后,内蒙古包头发生 6.4 级地震。此次地震值得我们深入研究的原因:一是因为涿鹿 4.3 级地震打破了延怀盆地及其周边(39.8°~41.0°N,114.1°~116.1°E)自 2005 年 8 月 31 日河北蔚县 3.4 级地震后长达 9 年的 $M_L \geq 4.0$ 地震平静;二是因为该研究区域的中强地震可能对后续华北地区中强地震具有一定的指示意义。

1 地震地质背景

延怀盆地位于华北地区的北部,在地质构造上,该盆地位于山西裂谷系北端晋冀蒙盆岭构造区的最东端,由延矾(延庆—矾山)和怀涿(怀来—涿鹿)2 个次级断陷盆地组成。依地震构造而论,本区位于 NW-NWW 向燕山—渤海(张家口—蓬莱)地震构造带和 NE-NNE 向山西地震构造带交汇部位,区内的延(庆)—怀(来)盆地既是这 2 条重要地震构造带的交汇构造,也同时具有 2 条地震构造带的构造属

性。盆地内历史上记录了 4 次 6 级以上强烈地震,分别为公元 294 年延庆东 6 级地震、1484 年延庆东 6 $\frac{3}{4}$ 级地震、1337 年怀来 6 $\frac{1}{2}$ 级地震和 1720 年怀来 6 $\frac{3}{4}$ 级地震^[1]。可以说,延怀盆地是一个地震多发的“敏感地带”。

1970 年以来,研究区域(39.8°~41.0°N,114.1°~116.1°E)内的中等地震活动一直持续不断(表 1),尤其是 1980—2000 年这段时间,该区域内的中

表 1 1970 年以来研究区域内 $M_L 4.0$ 以上地震

时间	震中位置	震级(M_L)
1972-08-24	河北怀来	4.1
1980-11-05	河北怀来	4.0
1980-11-10	河北赤城	4.2
1981-08-25	河北宣化	4.7
1981-09-06	河北怀来	4.4
1983-04-03	河北万全	5.1
1983-08-08	河北张家口	4.1
1987-11-11	河北宣化	4.7
1990-07-21	北京延庆	5.0
1994-12-02	河北怀来	4.3
1995-07-20	河北涿鹿	4.1
1997-05-25	河北宣化	4.7
2001-03-02	河北宣化	4.7
2002-08-31	河北怀来	4.4
2005-08-31	河北蔚县	4.0
2014-09-06	河北涿鹿	4.8

收稿日期:2015-01-23
基金项目:天津市地震局局内科研项目(12102)
作者简介:张杰卿(1981—),女,河北张家口人,工程师,从事地震监测和分析工作。E-mail:rabbitzjq@sina.com

等地震活动较为活跃。前人的研究表明,延怀盆地 4 级以上的地震在空间上大都发生于盆地差异运动强烈的地段和新活动断裂或多组断裂的交汇处,显示出 NE 向断裂对该区地震的控制作用;中、小地震活动经

常以震群形式出现,且大部分呈 NE 方向分布。这一地区地震震源深度一般较浅,多位于上、中地壳内,以 5~15 km 深度范围内居多^[2]。图 1 给出了该区域 1970 年以来 $M_L \geq 4.0$ 地震的震中分布图。

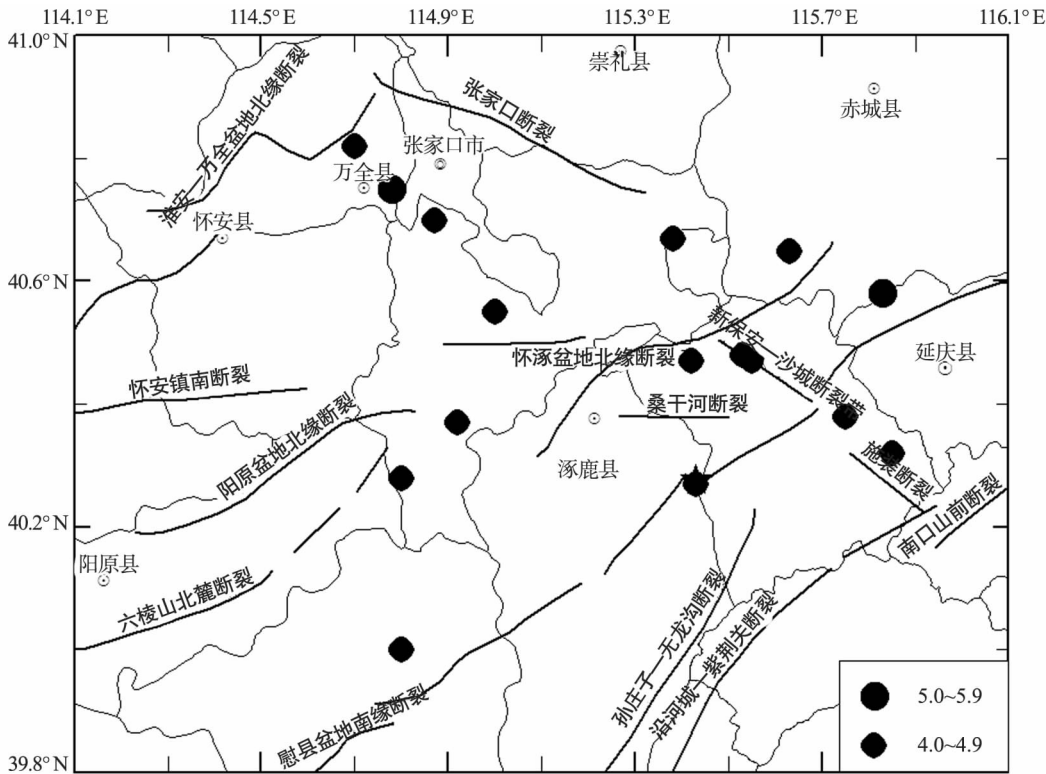


图 1 1970 年以来研究区域内 $M_L \geq 4.0$ 地震分布图

2 地震序列

至 2014 年 10 月 6 日,河北省数字测震台网共记录到 $M_L \geq 0.0$ 余震 15 次(图 2),余震次数较少,余震序列各级地震频次如下: $M_L 1.0$ 地震 11 次, $M_L 1.0 \sim 1.9$ 地震 1 次, $M_L 2.0 \sim 2.9$ 地震 2 次,最大余震为发生在 2014 年 9 月 18 日的 $M_L 2.8$ 级地震。9 月 6 日 4.3 级主震释放能量占全序列能量的 99.9%,主震与次大地震震级差 $\Delta M = 2.0$,该地震序列属主震—余震型。

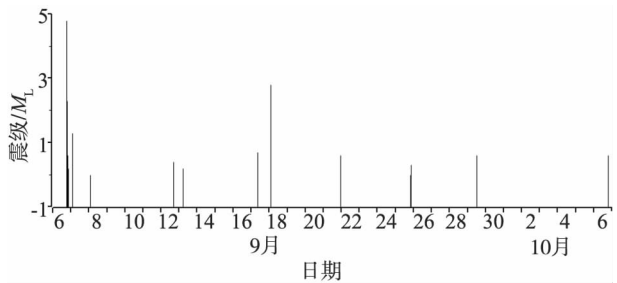


图 2 涿鹿 4.3 级地震 M-t 图

3 震源机制与视应力

研究表明,一个地区的活动构造和区域应力场特性决定了该区的断层活动方式,进而影响其构造地震活动性;构造地震的震源机制解包含了发震断层面解、发震应力场 P、T、N 轴等参数,可反映研究区域构造应力场和构造运动特征,是进一步探讨断层和块体的运动特性、构造变动样式和动力来源的重要资料。根据天津地震台网提供的地震波形数据,利用 P 波初动符号方法^[3]得出涿鹿 4.3 级地震的震源机制解(图 3),震源机制解的各项参数见表 3。从表 3 和图 3 可以看出,这次地震的主压应力方向为近 EW 向,主压应力轴 P 轴的倾角较小,为 25°,2 个节面的走向分别为 NW 和 NE 向,其中节面 II 的走向与延庆—矾山盆地北缘断裂带的走向大致吻合,节面 II 的倾角较大,为 69°。涿鹿 4.3 级地震的断层错动方式以走滑为主,与华北地区整体压应力场方向基本一致^[4]。

表 3 2014 年 9 月 6 日涿鹿 4.3 级地震震源机制解

(°)

节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		N 轴	
走向	倾角	滑动角	走向	倾角	滑动角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角
234	38	−160	128	78	−54	74	45	191	24	38	12

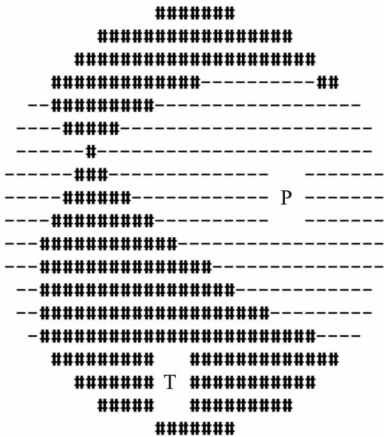


图 3 涿鹿 4.3 级地震震源机制解

视应力是平均应力下限值的一个估计^[5],定义为:

$$\sigma_{app} = \mu \frac{E_s}{M_0}$$

式中, μ 为震源区介质剪切模量,通常取 $\mu=3.0\times 10^4$ MPa; E_s 和 M_0 分别为地震波辐射能量和标量地震矩。 E_s 与 M_0 之比表示单位地震矩辐射出的地震波能量。 σ_{app} 值越高,震源区应力水平越高。但是,已有研究表明,视应力与震级呈正相关^[6]。因此,扣除震级影响才能还原真实的应力水平。我们通过基于经验模型给出的多台联合计算方法^[7]得到涿鹿 4.3 级地震的视应力为 1.7 MPa,消除震级的影响因素后,最终结果为其视应力水平较低。

4 地震活动异常分析

2014 年 9 月 6 日河北涿鹿 4.3 级地震打破了研究区域自 2005 年 8 月 31 日河北蔚县 3.4 级地震后长达 9 年的 $M_L\geq 4.0$ 地震平静^[8-9]。

涿鹿 4.3 级地震发生在 2011 年 12 月 24 日至 2013 年 11 月 27 日晋冀交界形成的 $M_L\geq 2.7$ 中短期空区的边缘(图 4),其震级水平与同期小震平均

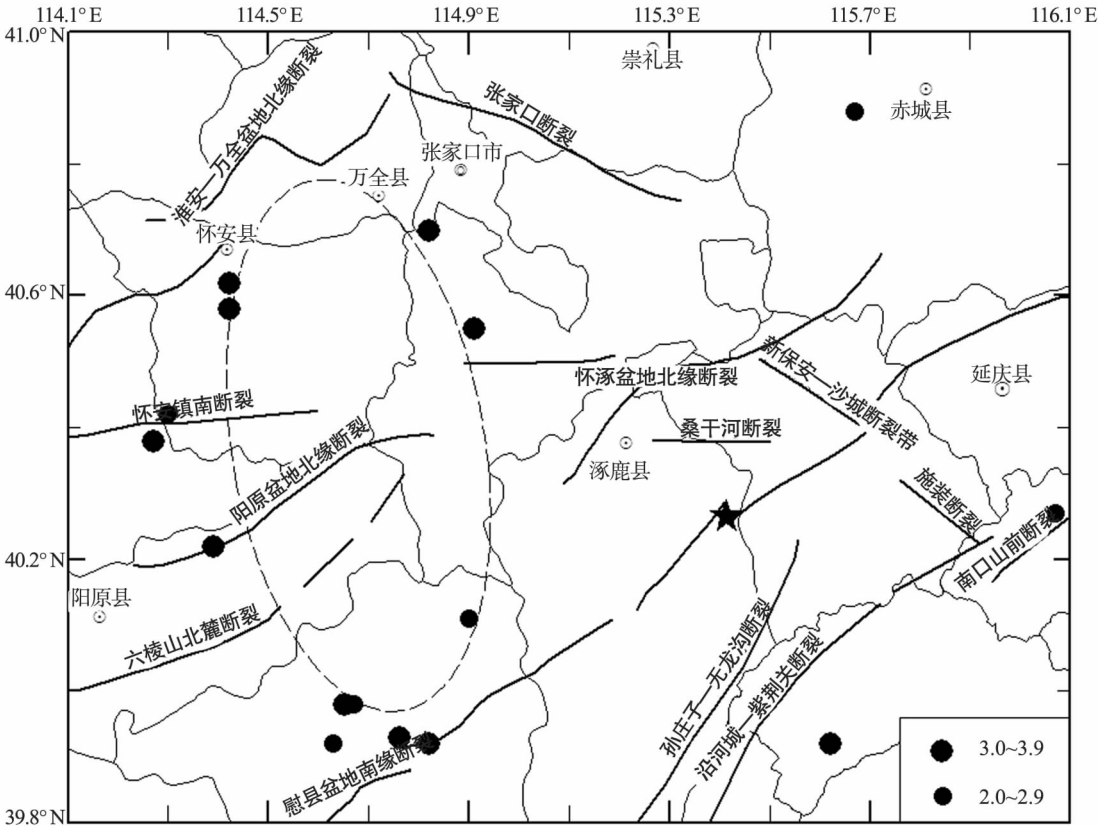


图 4 晋冀交界 $M_L\geq 2.7$ 中短期空区以及涿鹿 4.3 级地震震中

震级 2.5 左右相比要高出 2.3 级,符合显著地震的异常定义^[10]。

从震例回溯情况看,我们统计了 1970 年以来研究区域内 $M_L \geq 4.0$ 地震与后续华北地区 $M_S \geq 5.5$ 对应地点以晋冀蒙交界和冀鲁豫交界 2 个区域为主(图 6)。统计结果还表明,对应的后续华北地区 $M_S \geq 5.5$ 中强地震如果分布在冀鲁豫交界这个优势区域,则两者发震的时间间隔比较短,在 2~3 个月左右;如果对应的后续华北地区 $M_S \geq 5.5$ 中强地震分布在晋冀蒙交界这个优势区域,则两者发震的时间

中强地震的对应情况(表 4)。结果发现,两者在 2000 年以前对应关系比较好(图 5)。研究区域内 $M_L \geq 4.0$ 地震对应的后续华北地区 $M_S \geq 5.5$ 中强地震发震时间间隔最短为 2 个月,最长为 23 个月;间隔稍长一些,在 7~9 个月左右,这个区域对应的地震是最多的。两者发震时间间隔最长的是 20~23 个月,这 2 次对应的后续华北地区 $M_S \geq 5.5$ 中强地震,一次发生在江苏溧水,离延怀盆地 $M_L \geq 4.0$ 地震震中距离比较远,另一次发生在山西阳高,强度比较大,为双震。

表 4 1970 年以来研究区中地震与后续华北地区中强地震的对应关系

序号	延怀盆地中地震(M_L)	后续华北地区中强地震(M_L)	发震时间间隔/月
1	1972-08-24 河北怀来 4.1	1974-04-22 江苏溧水 5.8	20
2	1980-11-05 河北怀来 4.0	1981-08-13 内蒙丰镇 5.9	9
	1980-11-10 河北赤城 4.2		
3	1981-08-25 河北宣化 4.7	1981-11-09 河北隆尧 6.1	2
	1981-09-06 河北怀来 4.4		
4	1983-04-03 河北万全 5.1	1983-11-07 山东菏泽 6.3	3
	1983-08-08 河北张家口 4.1		
5	1987-11-11 河北宣化 4.7	1989-10-18 山西阳高 6.0、6.3	23
6	1990-07-21 北京延庆 5.0	1991-03-26 山西大同 6.1	8
7	1994-12-23 河北怀来 4.3	1996-05-03 内蒙包头 6.6	9
	1995-07-20 河北涿鹿 4.1		
8	1997-05-25 河北宣化 4.7	1998-01-10 河北张北 6.4	7
	2001-03-02 河北宣化 4.7		
	2002-08-31 河北怀来 4.4		
9	2005-08-31 河北蔚县 4.0	无	无
10	2014-09-06 河北涿鹿 4.8	?	?

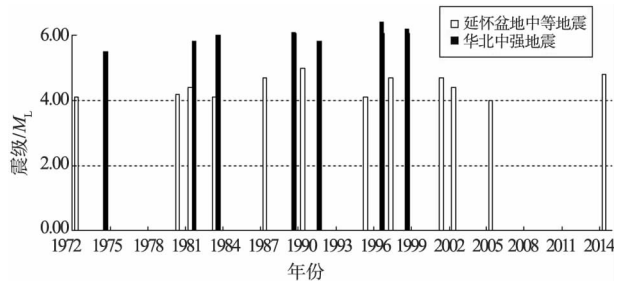


图 5 研究区中地震与后续华北地区中强地震时间对应关系图

2000 年以后,研究区域内也发生过 3 次 $M_L \geq 4.0$ 地震,但后续华北地区都没有发生 $M_S \geq 5.5$ 中强地震,这可能与 2000 年至今华北地区地震活动整体水平不高有一定的关系。尽管如此,2003 年 8 月 16 日内蒙古巴林左旗发生了 5.9 级地震,该地震位于华北地区的外缘,与 2002 年 8 月 31 日河北怀来 3.9 级地震相对应,两者时间间隔为 1 a;2006 年 7 月 4 日河北文安发生了 5.1 级地震,与 2005 年 8 月 31 日河北蔚县 3.4 级地震相对应,两者时间间隔也是 1 a。这 2 次对应的中强地震虽然一次是在华北地区外缘,另一次震级水平没有超过 5.5 级,但与研究区域内 $M_L \geq 4.0$ 地震的发震时间间隔都为 1 a。

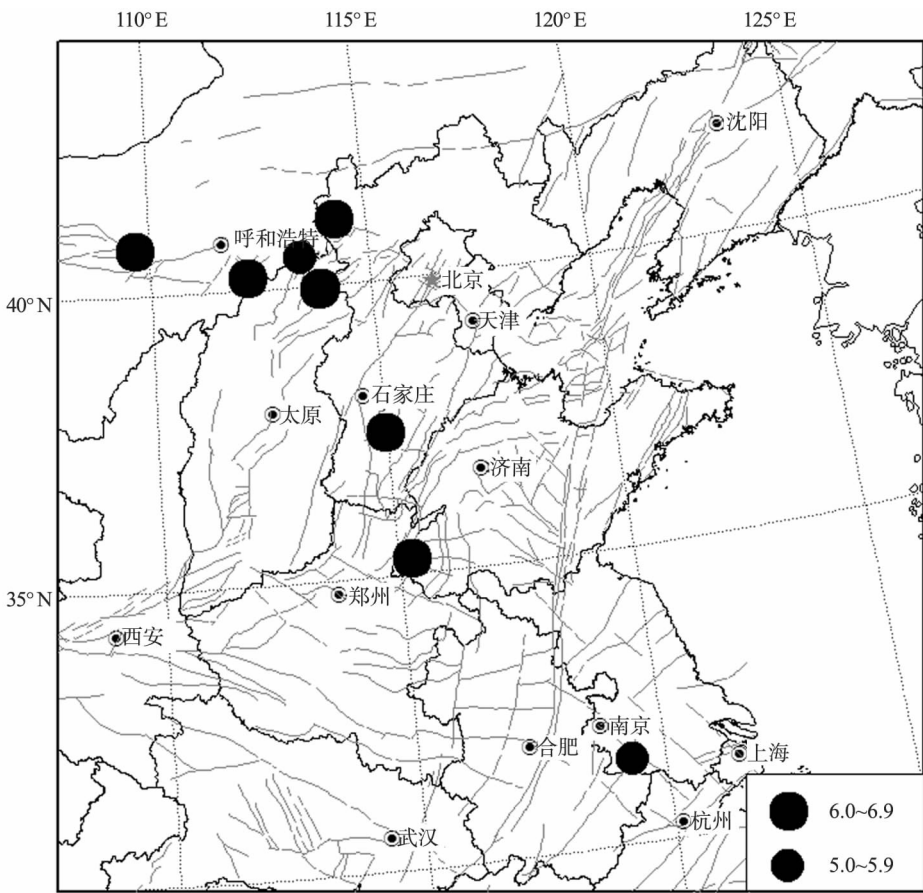


图 6 与研究区内中强地震对应的华北地区中强地震震中分布图

5 讨论与结论

2014 年 9 月 6 日涿鹿 4.3 级地震发生在延怀盆地的延矾断裂带上,地震破裂面Ⅱ的走向与延矾断裂带走向一致,错动方式以走滑为主,地震序列是主震一余震型。根据显著地震本身的震兆意义以及我们对过去震例的总结分析认为,2014 年 9 月 6 日河北涿鹿 4.3 级地震的发生对后续华北地区中强地

震具有一定的指示意义。
但我们也应该清醒的认识到,无论是按照传统方法判定显著地震的预测意义,还是通过震例总结判定一个地震的预测意义,都是在统计和经验的基础上给出的结果。而更科学的,我们还是应该综合其他学科,比如前兆和大地测量等,以及一些数字地震学方面的新方法去共同判定未来中强地震的震中。

参考文献:

[1] 朱海生,赵赓民,李广辉等. 延怀盆地构造特征及未来地震危险性评价[J]. 华北地震科学, 2006, 24(1): 38-42.
[2] 张志刚,吴景春. 怀来及邻近地区地震活动和地震危险性研究[J]. 华北地震科学, 1989, 17(4): 91-97.
[3] 刘泽民,倪红玉,张炳,等. 基于 FOCMEC 方法反演震源机制解的交互式程序研制与使用[J]. 华北地震科学, 2015, 33(1): 19-24.
[4] 孙贵成,郭祥云,马利军. 山西带中北部地区中小地震震源机制解特征[J]. 华北地震科学, 2015, 33(1): 52-56.
[5] Wyss M, Brune J N. Seismic moment, stress, and source dimensions for earthquakes in the California-Nevada region[J]. J Geophy Res, 1968, 73: 4681-4694.
[6] 乔慧珍. 地震视应力的研究[D]. 安徽: 中国科学技术大学, 2005.
[7] 杨志高, 张晓东. 首都圈地区地震视应力的计算及空间分布[J]. 地震, 2009, 29(4): 32-43.
[8] 孙丽娜, 赵亚红, 齐玉妍, 等. 晋冀蒙交界区较强震前的地震活动特征研究[J]. 华北地震科学, 2014, 32(4): 29-33.
[9] 王亚茹, 刘晓丹, 王想, 等. 华北地区 M_L 4 级地震平静的分析[J]. 华北地震科学, 2014, 32(2): 55-61.
[10] 中国地震局监测预报司. 强地震中短期预报方法及其效能研究[M]. 北京: 地震出版社, 2002.

3 结论与讨论

通过上述对地电场极化特征的分析,得出以下主要结论:

1) 弥渡台地电场数据在 4 组 5 级以上地震前都有较明显的线性极化增强异常,异常特征表现为:异

常平静时期,2 个垂直测向的线性关系呈杂乱无章状态,震前 3—6 个月线性极化特征增强,震前 1 个月达到最高值,随着时间的推移,越临近地震,其线性异常特征越明显,震后恢复至非线性模式。

2) 由于地电场的矢量具有方向性,两测向变幅的大小在一定程度上能反映出异常信号的来源方向。

参考文献:

- [1] 阮爱国,赵和云.提取地震地电场异常的垂直极化方向投影法[J].地震学报,2000,22(2):171-175.
- [2] 张学民,卢军.腾冲台强震前地电场线性极化特征[J].地震,2007,27(2):89-98.
- [3] 毛桐恩,席继楼,王艳琼,等.地震过程中的大地电场变化特征[J].地球物理学报,1999,42(4):519-528.
- [4] 赵玉林,卢军,张洪魁,等.电测量在中国地震预报中的应用[J].地震地质,2001,23(2):277-285.
- [5] 张学民,郭建芳,郭学增.河北省数字地电场数据分析[J].中国地震,2006,22(1):64-75.
- [6] 薛晓东,赵晋泉,曾金艳.二、三维高密度电法在临汾龙祠地震台水准测量巨幅形变异常判别中的研究与应用[J].华北地震科学,2013,31(2):23-28.
- [7] 孙雷,李飞,杨冯威.新沂台地电场频谱特征的分析与研究[J].华南地震,2013,33(2):93-103.

Analysis on Linear Polarization Pre-earthquake Anomalies of Geoelectric Field at Midu Seismic Station

YANG Xue-hui, JIANG Wei, SUN Wei-huai

(Tonghai Seismic Station, Yunnan Tonghai 652700, China)

Abstract: In this paper, geoelectric field data recorded by Midu seismic station since 2007 are analyzed aiming at pre-earthquake vector directional changes of NS and EW direction before 4 $M \geq 5.0$ earthquakes occurred in Yunnan province and its surrounding areas using straight line fitting and linear correlation methods. The result shows that the polarization of geoelectric field gradually become linear during 3~6 months before earthquakes, which may be a kind of typical short-impending pre-earthquake anomaly and has significance for earthquake prediction.

Key words: geoelectric field; linear polarization; analysis on anomalies

(上接第 40 页)

Analysis of Hebei Zhuolu M4.3 Earthquake on Sep. 6, 2014

ZHANG Jie-qing, LIU Shuang-qing, SUN Lu-qiang, LI He

(Earthquake Administration of Tianjin Municipality, Tianjin 300201, China)

Abstract: On September 6, 2014, a M4.3 earthquake occurred in Hebei Zhuolu. This earthquake break the $M_L \geq 4.0$ seismic quiescence in the Yanhuai basin and its surrounding area ($39.8^\circ \sim 41.0^\circ \text{N}$, $114.1^\circ \sim 116.1^\circ \text{E}$) since the Yuxian M3.4 earthquake occurred on Aug. 31, 2005. The epicenter of earthquake is on the Yanfan fault zone in the Yanhuai basin. The earthquake is analyzed from the following aspects: geological background, earthquake sequence, focal mechanism and seismic activity. The result shows that, the main rupture surface of the earthquake is consistent with the Yanfan active fault and is mainly caused by striking fault. The earthquake sequence is belongs to main shock-aftershock type. According to previous earthquakes in this area, the earthquake may have significance for medium and strong earthquake forecasting in North China in the future.

Key words: Zhuolu earthquake; Yanhuai basin; remarkable earthquake; earthquake case study