

李继业、张彦吉、高研等,2019,黑龙江肇东痕量氢野外定点观测实验与分析,中国地震,35(1),126~133.

黑龙江肇东痕量氢野外定点观测实验与分析

李继业¹⁾ 张彦吉²⁾ 高研¹⁾ 孙强²⁾ 周晨¹⁾ 任建辉²⁾ 马龙辰¹⁾

1) 黑龙江省地震局,哈尔滨 150090

2) 哈尔滨市防震减灾技术中心,哈尔滨 150021

摘要 利用 ATG-300H 便携式测氢仪,对黑龙江省高寒地区肇东痕量氢进行野外定点连续观测,并对泰来 3.3 级地震震兆关系进行初步分析。结果表明:肇东痕量氢表现为高值突跳,异常幅度大,持续时间短;氢气浓度 4 组高值异常,表现为“先上升、后下降”趋势,具有持续性和重复性。通过对高寒地区肇东痕量氢异常特征及异常机理分析,为痕量氢资料在地震预测中的应用提供一定的观测依据。

关键词: 痕量氢 高寒地区 定点观测 震兆分析

[文章编号] 1001-4683(2019)01-0126-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地球内部氢气来源与演化的研究,已成为国际地球化学前沿领域研究的热点之一(Whiticar,1999;Hernández et al,2000)。栗启初(1992)通过实验指出氢气逸出对断层的运动、地震的发生有直接的诱发作用。邵济安等(2010)研究认为,氢气主要来源于地幔,少量来自于地壳,在地壳中,由于活动断层产生的局部高温高压驱使中、浅层地热储库中的甲烷转化为氢气。Wakita 等(1980)指出氢气作为一种新的手段来指示断层活动性。汪成民等(1991)研究表明,在中国唐山、宁河、海城、大同等地,地震前后北京附近水井中溶解氢气浓度均急剧增加,其异常特征表现为多次高值突跳,突发性强且变化幅度大,背景稳定,异常时间短(一至几个月)。氢气也是断层气的主要成分,中国在利用氢气研究隐伏断层和地震前兆异常监测方面取得了重要进展,同时也获得了多个氢前兆异常实例(汪成民等,1991)。

断层气观测能够在地震分析预测研究中发挥作用,必须有充分观测依据和扎实的理论基础。常温常压下,氢气是一种极易燃烧,无色透明、无臭无味的气体。断裂气体的主要成分中包含氢气,氢气浓度的变化在地震短临预测中的映震能力明显优于其他检测手段,属于地震短临预测的重要监测手段(车用太等,2002、2015;张培仁等,1993;林元武等,1994,张炜等,1988;刘耀炜等,2006;李继业等,2018)。笔者利用 ATG-300H 便携式测氢仪于 2016 年 11 月~2017 年 4 月在黑龙江肇东地区开展痕量氢野外定点观测实验,分析了 2017 年 3 月 27 日泰来 3.3 级地震与肇东痕量氢的震兆关系,为野外痕量氢观测在地震预测中的应用提供一

[收稿日期] 2018-03-30; [修定日期] 2019-02-24

[项目类别] 中国地震局地震科技星火计划项目(XH19011)资助

[作者简介] 李继业,1981 年生,男,硕士,高级工程师,主要从事数值地震及综合预测方法研究。E-mail:jiye_li@126.com

定的观测依据。

1 观测井及其地质概况

1.1 观测井地质概况

黑龙江肇东痕量氡野外定点观测井位于松辽盆地中央拗陷区滨州断裂、扶余-肇东断裂交汇部位,地理位置为肇东市民主乡陶志屯(45.90°N、126.17°E)。松辽盆地基底为前古生界、古生界的变质岩、火成岩等岩系,上部沉积盖层从侏罗系开始,至新生界均有不同程度的发育,总厚度可达 11000m 以上,但以白垩系为主,白垩系厚达 7000m 以上。地表均为第四系未固结的松散黏土所覆盖。松辽盆地自下而上为前古生界、下古生界、上古生界、侏罗系、白垩系、第三系、第四系。在盆地演化过程中,规模较大的区域性深大断裂或基底断裂控制了盆地的边界、轴向、沉降沉积中心和构造单元分区,基底断裂的多期活动也直接影响了盖层断层发育、沉积建造和局部构造的形成,最终形成了一近 NE 向、NNE 向的菱形盆地(高妍,2008)。黑龙江省中西部地区新生代火山活动强烈,断裂发育,地震频繁,是研究地球排气作用与地震关系的天然实验室(邵继安等,2010)。1119 年吉林前郭 6 $\frac{3}{4}$ 级地震发生在扶余-肇东断裂附近;2005 年黑龙江林甸 5.1 级、2009 年黑龙江安达 4.6 级地震发生在滨州断裂附近;2006 年吉林乾安 5.0 级地震、2013 年吉林松原 5.8 级震群、2018 年吉林松原宁江 5.7 级地震均发生在扶余-肇东断裂附近。

滨州断裂: NW 走向,全长约 320km,横穿松嫩平原,是一条由物探资料得到的基底断裂。根据断裂结构的不连续性,将断裂分成 2 段,即北西段和东南段。北西段自齐齐哈尔南部向 SE 经过大庆北延伸到任民附近。东南段自安达经肇东延到哈尔滨北部。2 段以任民-海伦断裂为界错开约 20km。断裂横切滨东隆起带,对松辽中断(拗)陷带内部构造分区具有控制作用,以张剪性活动为主,为正断层,倾向 SW,倾角 60°~85°(李继业,2006)。观测井距滨州断裂大约 6km,位于滨州断裂上盘。

扶余-肇东断裂:整体呈 NE 走向,其东西两侧分别为盆地东南隆起区和中央拗陷区,揭示该断裂处于基底等深线的突变带上,控制了区域第四季沉积,在构造上易于积累能量以孕育地震。邵博等(2016)认为扶余-肇东断裂自新构造活动以来受持续的挤压应力作用,致使断层下盘不断拗陷,上盘逐渐隆起,最终造成断层两侧沉积地层有一定差异。观测井处于扶余-肇东断裂上盘,距离大约为 16km。

呼兰河断裂:盆地东部的一条规模最大的断裂,南端抵达登娄库附近,为正断层,走向 NE30°~40°,倾向 SE,倾角 65°~75°,沿断裂形成了一定规模的破碎带和挤压带。观测井距离呼兰河断裂相对较远,大约 44km。

观测井位于扶余-肇东断裂东南隆起区,整体呈现隆起,而东南隆起区受滨州断裂和扶余-肇东断裂共同控制,但滨州断裂为隐伏断裂,具有不连续性,因此,断层气可能受 NE 向的扶余-肇东断裂控制作用相对更强(图 1)。

1.2 观测井施工工艺

氡气具有极强的渗透性、迁移性及容易垂直向上扩散的特点,根据高寒地区气候特点,氡气定点观测井尽量选取冻土层薄的点位布设,钻探深度需穿透冻土层,肇东 2016 年冻土层厚度约为 1.2m。

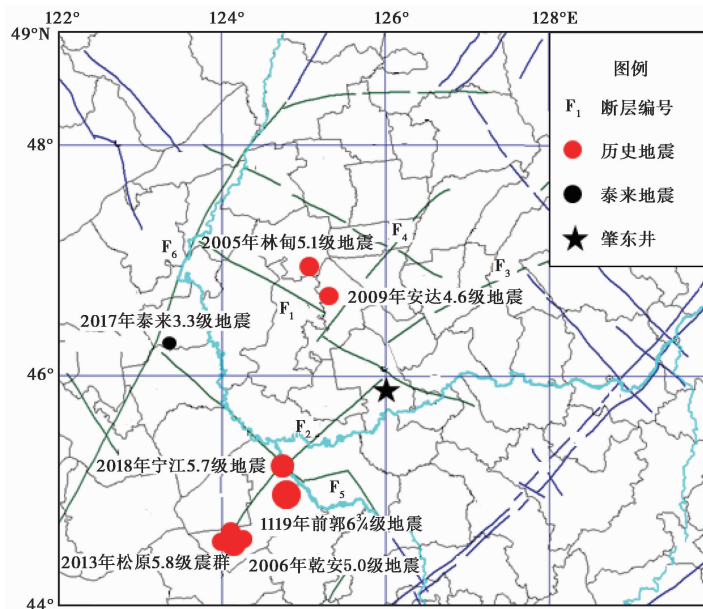


图1 研究区地震构造图

F_1 :滨州断裂; F_2 :扶余-肇东断裂; F_3 :呼兰河断裂; F_4 :任民-海伦断裂; F_5 :第二松花江断裂; F_6 :嫩江断裂

肇东痕量氢野外定点观测井孔深3m,直径1m,集气装置采用地下室深埋方式,地下室地面、墙面铺一层保温泡沫,在地下室墙体涂抹20mm厚的1:2防水砂浆,能有效防止地表水渗入,以免影响观测数据质量。集气管选取PVC管,3根捆绑,放置在冻土层下方,避免个别集气管堵塞导致集气不充分,同时也便于日后开展多种气体观测和采集;在冻土层下方放置集气罩,考虑年度气温变化对观测的影响,集气罩外围覆盖双层塑料隔层,集气罩与PVC管之间做好密封,涂抹水泥层面,连接集气管至地表,再回填盖土,并将回填盖土反复压实。观测井底部为1.8m砾石层,采用鹅卵石铺垫,中间采用金属管网隔离鹅卵石,设立集气室,集气室两侧都依次用大鹅卵石、小鹅卵石、细沙填充,井孔上方加盖特制井盖(图2)。做好每一个观测层位的密封防寒与防水隔离,形成一套完整的适用于高寒地区地下氢气采集装置,集气装置中的气体通过扩散使气体达到新的平衡,测定的结果能更好地反映断层气体的真实变化。

1.3 野外观测仪器

ATG-300H便携式测氢仪广泛应用于大气、水和沉积物中痕量氢的现场测定,可对相关样品进行快速准确的全自动分析测定。它拥有灵敏度高,稳定性好,自动稳零,检出限低($5 \times 10^{-8} \text{L}$),线性好($y \geq 0.99$)等特点,内置锂电池,携带方便。适用温度/湿度为 $-40 \text{ }^\circ\text{C} \sim 70 \text{ }^\circ\text{C} / 10\% \sim 90\% \text{RH}$,2016~2017年肇东地区最低气温达 $-37 \text{ }^\circ\text{C}$,为2001年以来最低温度,其间测氢仪工作稳定,数据产出合理,适用于高寒地区高寒时段野外观测。

2 黑龙江肇东痕量氢观测数据分析

2.1 周边地震活动

2016年11月~2017年4月肇东痕量氢观测井附近仅发生1次3级以上地震,为2017

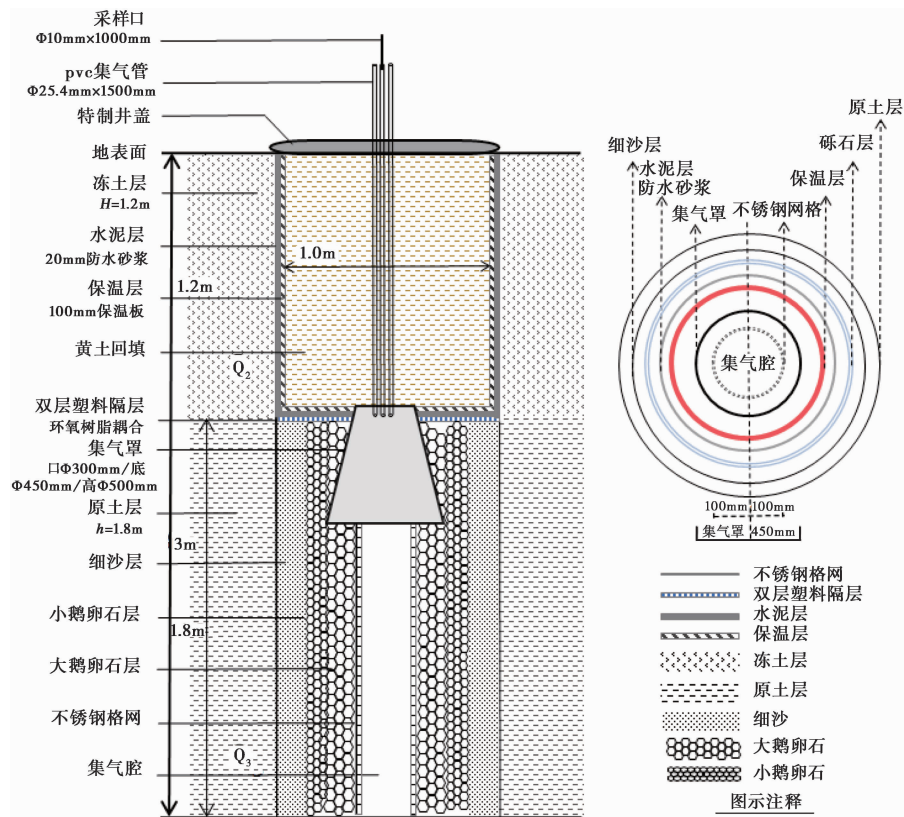


图 2 黑龙江肇东痕量氢野外定点观测井柱状图

年 3 月 27 日黑龙江泰来 3.3 级地震,此次地震震中位于松辽盆地嫩江断裂和第二松花江断裂交汇处,距肇东痕量氢观测井 212km,发震断裂为嫩江断裂,与肇东痕量氢观测井分别位于由嫩江断裂、第二松花江断裂、滨州断裂和扶余-肇东断裂所围块体的 2 个对顶角交汇地区(图 1)。

2.2 干扰分析

通过对痕量氢背景观测数据与气温、气压的原始值进行对比发现,高值异常图像与正常背景动态相差较明显,较易判定与识别,肇东痕量氢野外定点观测(2016 年 11~12 月)属于正常变化形态,且有明显的气温、气压效应,其表现形式为痕量氢与气温呈正相关变化,与气压呈负相关变化(图 3),与以往观测经验相符。通过对肇东痕量氢观测仪器运行、观测井周边环境、区域天气因素和附近人为干扰等进行调查核实,认为肇东痕量氢浓度变化真实可靠,与气温、气压效应无关。由于断层活动中伴随的地壳放气是造成断层氢浓度增大的前提之一,可能反映了肇东痕量氢定点观测井附近断层活动。

2.3 异常分析

断层带上的土壤氢气浓度受构造作用、断层闭锁程度、滑动速率、裂隙发育程度、开启或闭合状态等因素影响较大,它们主要影响深部氢气的向上迁移通道和在地表的富集程度(孙小龙等,2017)。

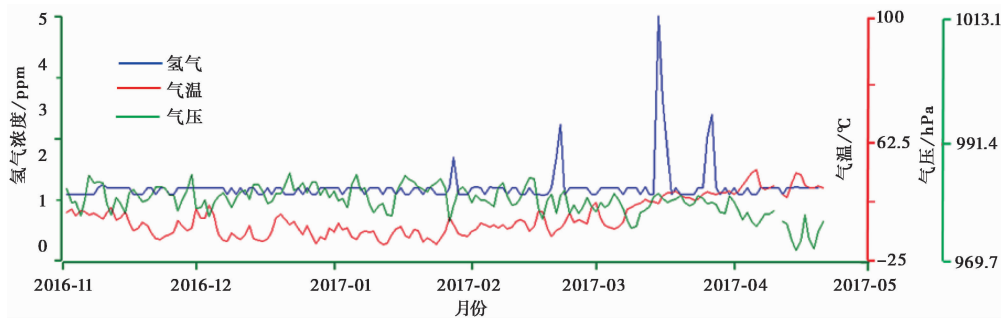


图3 黑龙江肇东定点断层氢气与气温、气压日均值对比

2016年11月~2017年4月为黑龙江地区高寒时段,观测井周边环境变化和人为活动为一年中最少时段,该时段肇东痕量氢背景观测值非常稳定,主要集中在0.45ppm以下,分析原因主要有两方面:第一,高寒地区高寒时段,周边环境和人为干扰较少;第二,痕量氢野外定点观测井工艺可靠,能真实地反映地下氢气背景变化特征。这种背景下,出现的痕量氢高值异常就更具研究价值。按照高值异常出现时间可将数据分为4组:氢气浓度第1组(震前60天)为0.992ppm,为正常背景值的2.2倍;第2组(震前37天)为1.01ppm和1.838ppm,为正常背景值的4.1倍;第3组(震前12天)为4.653ppm、2.481ppm、1.115ppm,为正常背景值的10.3倍;第4组(震前2天)为2.1ppm、1.497ppm,为正常背景值的4.7倍。肇东定点氢气4组高值异常量级呈现“先上升、后下降”的趋势,震后恢复正常(图4、表1)。泰来M3.3地震前其异常幅度超出背景值几倍甚至十几倍变化,且异常具有重复性(连续多日出现高值异常),持续时间短,震前表现为临震状态,震后数据恢复至背景值。

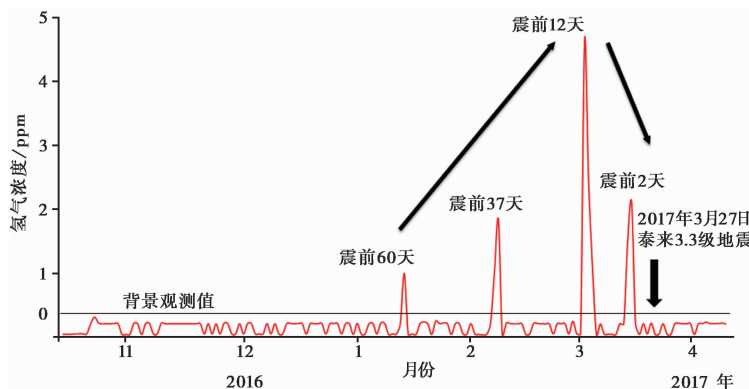


图4 黑龙江泰来3.3级地震前肇东痕量氢高值突跳异常

表1 黑龙江省肇东痕量氢高值异常表

分组	异常起始时间(年-月-日)	异常持续时间/天	痕量氢最高值/ppm
1	2017-01-27	1	0.992
2	2017-02-19~20	2	1.838
3	2017-03-14~16	3	4.653
4	2017-03-25~26	2	2.100

将高值异常数据以2min的采样间隔,每次高值异常时间共计10min来进行分析(图5)。由图5可见,断层氢气定点观测高值异常具有持续性(同一次观测连续多个采样点出现高值异常)特征,尤其是第3组高值异常连续多日出现,且最高值呈现逐日下降趋势。

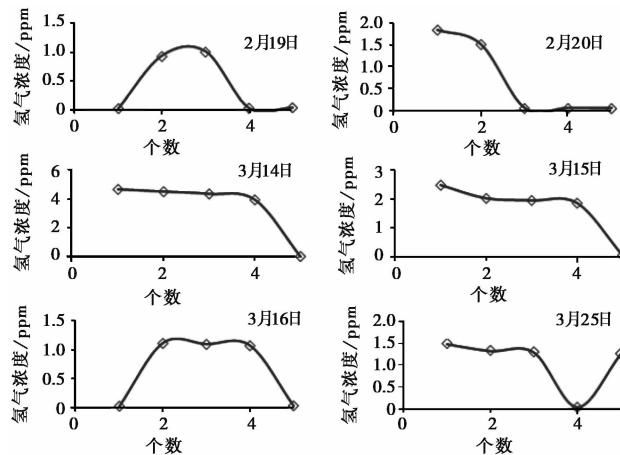


图5 黑龙江肇东痕量氢观测数据高值突跳异常持续性
采样间隔 2min

3 肇东痕量氢异常机理分析

研究表明(黄春玲等,2015;范雪芳等,2016),断层活动过程中能够引起氢气的释放,断裂活动可以促使氢气的逸出。通常,地下岩体或松散层中都存有 He、H₂、Hg、Rn、CO₂ 等气体,含量一般较低,大多呈自由状态存在于岩石和土层的孔隙中,或吸附在岩石的颗粒表面。外界条件不变时,这些气体处于平衡状态;当环境条件改变时,特别是地下应力状态变化时,由于构造应力的作用,原来地壳岩石中随机分布的微裂隙不断发展,随着数量、规模不断增大,从而互相联通,地球深部的氢气极易随之变化,扩散到地表。地震前区域应力场不断加强,地下气体从高压区流向低压区,假设断层气孔处在相对低压区,随着地壳间歇放气,周围的地下气体在应力场作用下,向断层气孔汇集,使得一些特征气体含量增加,气体组分便会出现不同幅度的异常,形成断层土壤气中氢气的含量高值异常现象。

嫩江断裂为正断层兼走滑性质,其主要受到张力作用,滨州断裂和第二松花江断裂均为正断层兼走滑性质,且它们均受嫩江断裂控制。扶余-肇东断裂为逆断层兼走滑性质,其主要受到嫩江断裂、滨州断裂和第二松花江断裂共同影响。肇东氢气定点观测井处于嫩江断裂、滨州断裂、第二松花江断裂和扶余-肇东断裂所形成的菱形块体对顶角交汇地区,因此,肇东痕量氢可能由4条断裂共同控制,当其中1条断裂出现应力积累或释放时,会导致痕量氢观测值出现异常现象(图6)。

4 总结与讨论

利用 ATG-300H 便携式测氢仪,对黑龙江省高寒地区肇东痕量氢进行野外定点连续观测,分析了观测井氢气浓度异常及探讨了异常机理,主要得到如下初步认识:

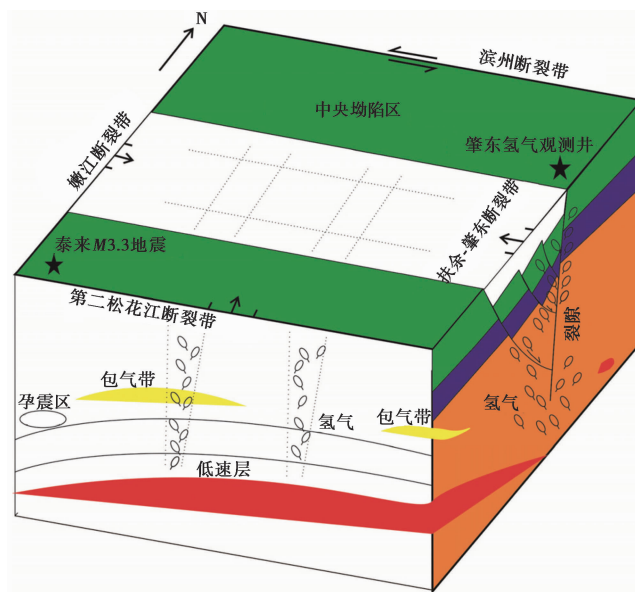


图 6 肇东痕量氢定点观测异常机理分析

(1) 黑龙江肇东痕量氢野外定点观测井工艺设计符合高寒地区特点,具有抗环境干扰、防水防寒等特点,井下设计能有效避免温差变化、地表水渗入、人为环境影响等,更易于捕捉和汇聚断层逸出气体,在高寒地区适合推广应用。

(2) 肇东痕量氢观测背景稳定,泰来 $M3.3$ 地震前高值异常具有持续性和重复性的特征,整体表现为“先上升、后下降”趋势,其分别出现在地震前 60、37、12、2 天,震前表现出短临异常。异常幅度超出背景值几倍甚至十几倍。

(3) 黑龙江肇东痕量氢野外定点观测井位于扶余-肇东断裂东南隆起区,受滨州断裂和扶余-肇东断裂共同控制,但滨州断裂为隐伏断裂,具有不连续性,因此,断层气可能受 NE 向的扶余-肇东断裂控制作用相对更强。

目前,断层带氢气定点观测资料积累有限,对地震分析预测的效能仍有待于检验和研究。在有条件的地区开展断层气观测,并形成观测网,或许对捕捉地震前兆信息有一定的意义。

参考文献

- 车用太、刘耀炜、何镛,2015,断层带土壤中 H_2 观测——探索地震短临预报的新途径,地震,35(4),1~10.
- 车用太、鱼金子、张培仁等,2002, H_2 与 He 的映震灵敏性及其干扰初析,地震,22(2),94~103.
- 范雪芳、张磊、李自红等,2016,断裂带土壤气高精度氢异常分析,地震地质,38(2),303~315.
- 高妍,2008,松辽盆地东南缘中生代火山岩的年代学和地球化学特征,硕士学位论文,长春:吉林大学.
- 黄春玲、王洪峰、李民等,2015,断层气观测在夏县中心地震台的应用研究,山西地震,(2),24~29.
- 李继业,2006,黑龙江及邻近地区 NW 向断裂与滨州断裂地震活动特征分析,地震地磁观测与研究,27(3),56~61.
- 李继业、任建辉、康健等,2018,松辽盆地断层氢气背景动态特征,国际地震动态,(8),114.
- 栗启初、Zeller E、Angino E,1992,沿断层逸出的氢气对地震的诱发作用,地震学报,14(2),225~235.
- 林元武、翟盛华、范树全等,1994,华北隐伏活动断裂 H_2 异常特征及其异常机制研究,地震地质,16(3),264~268.

- 刘耀伟,2006,我国地震地下流体科学 40 年探索历程回顾,中国地震,22(3),222~235.
- 邵博、沈军、于晓辉等,2016,松原市扶余北隐伏活动断裂地震潜势研究,地震工程学报,38(4),616~623.
- 邵继安、赵谊、张福松等,2010,黑龙江省中西部地球排气与地震活动的探讨,岩石学报,26(12),3651~3656.
- 孙小龙、邵志刚、司学芸等,2017,断层带土壤氢气浓度测量及其影响因素,大地测量与地球动力学,37(4),436~440.
- 汪成民、李宜瑚,1991,我国断层气测量在地震科学研究中的应用现状,中国地震,7(2),19~30.
- 张炜、罗光伟等,1988,气体地球化学方法在探索活断层中的应用,中国地震,4(2),121~123.
- 张培仁、王基华、孙凤民,1993,氢——预报地震的灵敏元素,地震地质,15(1),69~77.
- Hernández P, Pérez N, Salazar J, et al, 2000, Soil gas CO₂, CH₄, and H₂ distribution in and around Las Cañadas caldera, Tenerife, Canary Islands, Spain, J Volcanol Geoth Res, 103(1/2/3/4), 425~438.
- Whiticar M J, 1999, Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane, Chem Geol, 161(1/2/3), 291~314.
- Wakita H, Nakamura Y, Kita I, et al, 1980, Hydrogen release: new indicator of fault activity, Science, 210, 188~190.

Experimental Study on the Trace Hydrogen Observation Technology in the Zhaodong Area of Heilongjiang Province

Li Jiye¹⁾ Zhang Yanji²⁾ Gao Yan¹⁾ Sun Qiang²⁾ Zhou Chen¹⁾ Ren Jianhui²⁾
Ma Longchen¹⁾

1) Heilongjiang Earthquake Agency, Harbin 150090, China

2) Harbin Technical Center of Earthquake Prevention and Disaster Reduction, Harbin 150021, China

Abstract ATG-300H portable hydrogen analyzer was used for continuous observation of spilled hydrogen in the Zhaodong area of Heilongjiang Province. the results show that in the range of 200km away from the observation point, spilled hydrogen is abnormal in Zhaodong before the M3.3 earthquake in Tailai County. Outliers are characterized by high-value leap, abnormal amplitude, short duration, and combined with four abnormal high-value, as the hydrogen concentration strength first increased and then decreased, with the characteristics of continuity and repeatability. Based on the analysis of the abnormal characteristics of spilled hydrogen and the abnormal mechanism of spilled hydrogen in Zhaodong of the high-cold area, this paper provides some factual evidence for the application of spilled hydrogen data in earthquake prediction.

Key words: Trace hydrogen; High-cold period; Fixed-point observation; Seismic precursor