第 30 卷　第 1 期(43 ~ 54)　　中 国 地 震　　Vol. 30　No. 1
2014 年 3 月　　EARTHQUAKE RESEARCH IN CHINA　　Mar. 2014

范雪芳、李自红、刘国俊等,2014,断层氢气浓度观测技术试验研究,中国地震,30(1),43 ~ 54。

断层氢气浓度观测技术试验研究

范雪芳[1,4)]　李自红[1,2)]　刘国俊[3)]　黄春玲[3)]　王向阳[3)]

1) 山西省地震局,太原市晋祠路二段 69 号　030021
2) 太原理工大学矿业工程学院,太原　030024
3) 山西省地震局夏县中心地震台,山西夏县　044000
4) 太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站,太原市晋源区太原基准地震台　030025

摘要　为了探索地下流体地震监测新技术、新方法,在中条山山前断裂带上开展了断层氢气浓度观测技术试验研究。通过对观测点位置、集气装置以及采样深度等观测条件的试验研究,给出了使用痕量氢在线自动分析仪进行断层氢气浓度观测的技术方法。针对在野外环境下该类仪器的稳定性、适宜条件进行了对比试验,对同一条断层上不同测点的氢气浓度动态特征进行了观测对比分析。试验结果表明,在断裂带上进行氢气浓度连续观测,技术上是可行的,本文提出的观测技术方法对观测点勘选、观测深度选择以及对观测数据的客观分析等均有参考意义。

关键词:　中条山山前断裂　断层　氢气浓度　连续观测　地震监测新技术
[文章编号]　1001-4683(2014)01-043-12　　[中图分类号]　P315　　[文献标识码]　A

0　引言

气体地球化学方法在地震科学研究中有广泛的应用领域,探索气体地球化学方法在地震监测预报中的应用技术,是多年来国内外地震学者的共同愿望,被认为是一项具有广阔前景的地震监测方法(刘耀炜等,2006; 杜乐天,2010)。传统的定点连续地球化学观测,主要以氡(Rn)、汞(Hg)测项为主。因为以往受到观测技术的局限,一些能够反映深部流体活动的气体地球化学测项,如氢气(H_2)、氦(He)、二氧化碳(CO_2)等很难在定点台站进行连续观测。随着近年来观测技术的发展和新型观测仪器的应用,氢、氦、二氧化碳等气体测项已能够在野外实现定点连续监测。这类气体地球化学测项的连续监测技术,将为我们探索地震监测新方法提供可能的途径。

氢(H)是比较活泼的元素,在地球内部主要以化合物形式存在,在各类化学物理作用条件下,氢元素转化为氢气(H_2)并在地球内部运移。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)。普遍认为地下氢气浓度的变化对地震的反映较灵敏,特别在短临阶段的映震能力明显优于其他测

[收稿日期]　2013-06-21; [修定日期]　2013-07-21
[项目类别]　地震科技星火计划"中条山山前断裂断层氢气观测实验研究"项目(XH12006)资助
[作者简介]　范雪芳,女,1963 年生,高级工程师,主要从事地下流体监测预报和研究工作。
E-mail: xuefang63@163.com

项，是地震短临预测的重要手段之一（车用太等，2002；张培仁等，1993；林元武等，1994）。汪成民等（1991）的研究结果表明，在我国唐山、宁河、海城、大同等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，背景值稳定，异常时间短（1～几个月）。氢气也是断裂带气体的主要成分，我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（林元武等，1994），同时也有了用氢前兆异常预测地震的成功实例（张炜等，1988，1992；范雪芳等，2012）。

但是，很多学者都发现氢气在水、土壤中的背景值较低，出现异常时变化幅度较大，异常的相对变化甚至高过原基本量的 2～3 个数量级，易于识别，并且异常多出现在震前短临阶段，是值得推广的地震短临监测方法。但由于以往氢气观测方法使用热导检测器气相色谱仪，操作繁杂，人工取样每天只能产生一个数据。重要的关键是仪器灵敏度较低，检出限仅为 1×10^{-5}，而一般水中溶解气或土壤中的氢气浓度的背景值为 0.5×10^{-6}，或甚至更低，用气相色谱仪很难检测到氢气的背景动态，在无法分析氢气的正常动态的情况下就无法分析观测量的可靠性，因此气相色谱仪观测方法远不能满足地震监测提取前兆异常的需求。

山西省的中南部地区多年来一直被列为华北地震的重点关注地区。山西地震带中南段新构造活动显著，近年来小震活动明显增强。为了探索用断层氢气浓度监测预测地震的新方法，2012 年在中条山山前断裂上布设了 4 个断层氢气浓度连续观测点，使用痕量氢在线自动分析仪，开展定点连续观测。通过对观测点位置、集气装置以及采样深度等观测条件的试验研究，给出了用痕量氢在线自动分析仪进行断层气观测的技术方法。针对在野外环境条件下的仪器稳定性、适宜条件等进行了对比试验，对同一条断层上不同测点的氢气浓度动态特征进行了观测对比分析。本项试验研究为进一步推进断层氢气浓度连续观测技术在地震监测预报中的应用提供了可供参考的经验。

1 测点布设及观测方法

1.1 测点布设依据

日本名古屋大学杉崎隆（1993）研究了氢气的逸出与地震活动的关系后认为，逸出氢的增加期与附近地震活动期一致，氢气浓度与地震活动所释放的能量有关。邵济安等（2010）研究认为，氢主要来源于地幔，来源于地壳的少量氢是由于活动断层产生的局部高温高压使中-浅层地热储库中的甲烷转化而成。王华林等（1991）使用各种测量仪器，在断层附近的断层气中获取到高出背景值 3～6 倍的峰值数据。中国地震局地震预测研究所等单位曾对几次大震现场开展了断层气测量工作，多次观测结果表明，极震区地下逸出气浓度明显高于外围地区，逸出气强度一般与地震烈度的强度相吻合①。

根据苏宗正等（2001）研究成果，本研究区域选择的中条山北麓断裂之夏县断裂，位于山西地震带南端，是一高角度正断层，为控制运城盆地的主控构造。历史上运城盆地周边强震活跃，最大地震为 1815 年山西平陆 6½级地震，近 30 年来运城盆地常有 4.0 级左右中等地震及震群发生，近年来发生了多次强有感地震，因此本地区是开展气体地球化学观测试验的理想地区。1982 年以来在夏县及其周围 100km 范围内发生的 $M_L\geqslant4.0$ 地震分布和 M-t

① 中国地震局地震预测研究所，2013，四川芦山 7.0 级地震科学总结报告

图见图 1。

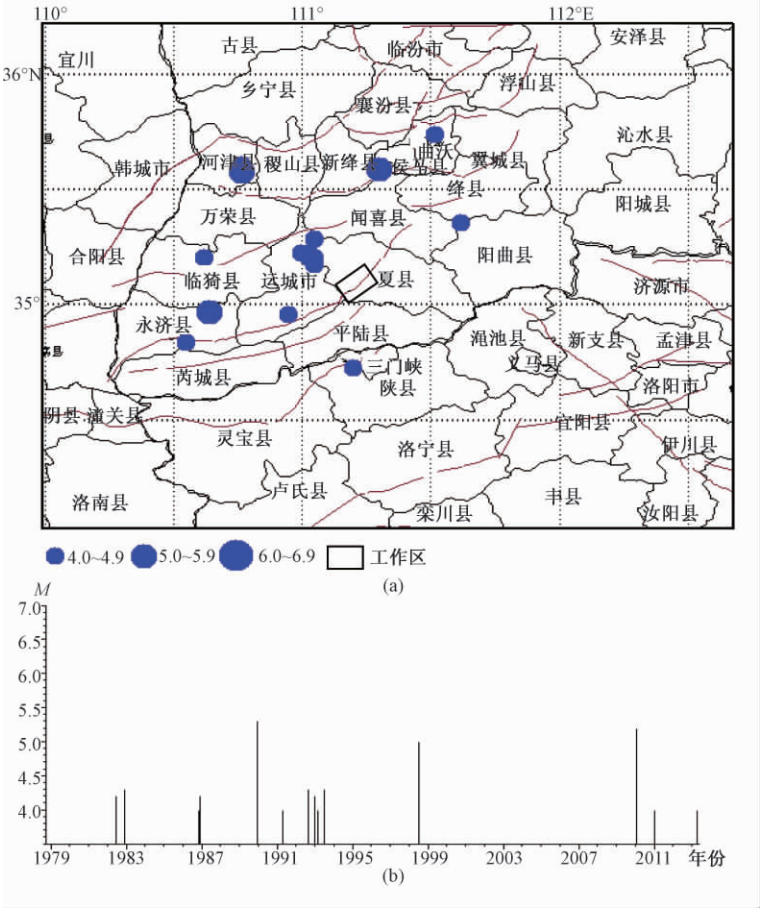

图 1　山西夏县及其周围 100km 范围 1979 ~ 2013 年 $M_L \geqslant 4.0$ 地震分布(a) 及 M-t 图(b)

1.2　测点堪选与布设

为了在断裂带上选择合适的断层氢气浓度观测点，使用 ATG3000 便携式测氢仪，沿着中条山山前断裂的夏县断裂带进行了测点勘选，选择了夏县 1、夏县 2、赤峪和东郭等 4 个氢气浓度相对较高的测点，建立了连续观测试验点(图 2) 。

中条山断裂为鄂尔多斯断块周边活动断裂系东南部的一条断裂，且为运城断陷盆地和中条山断块隆起的分界。中条山断裂带出露于中条山山前的北麓和西麓，长 137km，走向 NE-NEE，倾向 NW，倾角 58° ~ 75°，属高角度正断层，断裂破碎带宽 100 余米(图 2(a)) 。该处由于岩体破碎，孔隙和裂隙比较发育，易富集和贮存气体，是地下气体较易逸出的灵敏地段。经野外实测和前人研究成果表明，断裂带上土壤气浓度富集，远离断裂带两侧其浓度则锐减(范雪芳等，2009) ，勘选观测点布设在中条山山前大断裂与 NW 向隐伏断裂交汇处及其附近，断层氢气浓度定点试验观测点分别选择在位于断层上、靠近断层和远离断层，以便开展对比分析(图 2(b)) 。

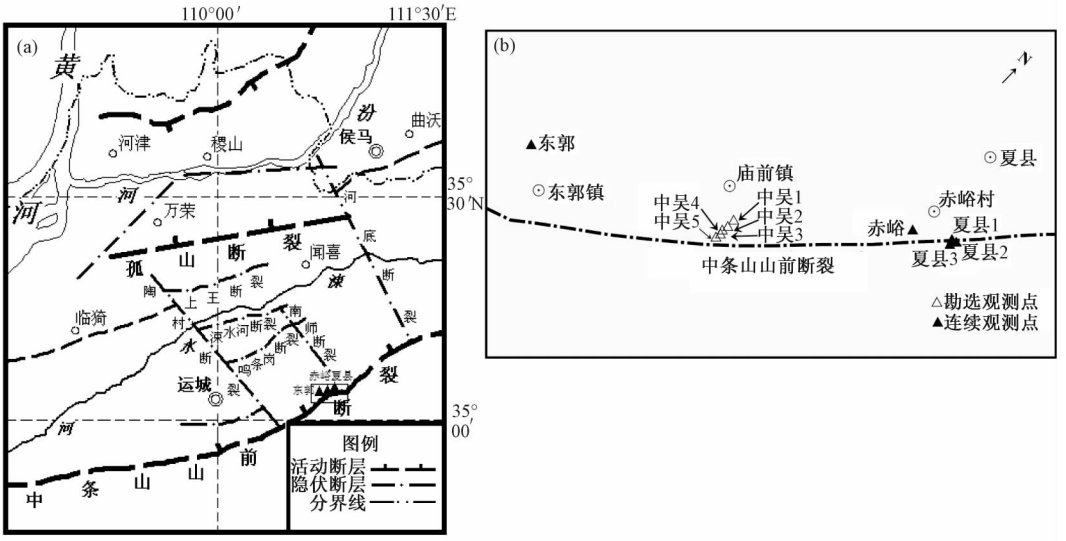

图 2 (a) 氢气测区地质构造图,(b) 测点分布图

1.3 仪器参数与主要性能

本次试验观测使用了杭州超距科技有限公司生产的“痕量氢在线自动分析仪”。仪器的氢气传感器是利用氢气与微电子纳米薄膜半导体材料中活性成分的反应原理,将测量反应过程的电压变化换算成氢气浓度。该仪器测试灵敏度比热导池气相色谱仪高出 4 ~ 5 个数量级,气敏元件对氢气的检测限达到 0.001ppm,氢气的绝对检测限达到 10^{-9}L,仪器的工作原理见图 3。

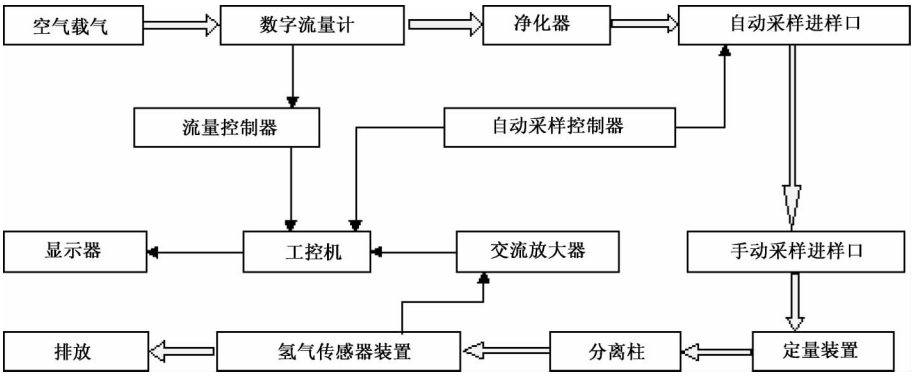

图 3 痕量 H_2 在线自动分析仪结构图

与之配套的还有与氢气观测采样率一致的环境气温、气压辅助观测项。操作过程采用 LED 大屏幕实时时钟显示,全中文操作菜单,定时自动存储数据。可随时查看存储数据以及不同时间段的氢气浓度随时间的变化曲线等。仪器在较高湿度、较大温度变化环境下可正常工作。

1.4 观测方法

(1) 选择观测孔深度。根据测试结果,选择适当的观测深度,并考虑到防冻、防雨、传输

等因素,尽量避免自然因素干扰。根据陈华静等(1999)研究认为,断层土壤气的观测点孔深的选择,应根据地貌、断层覆盖层厚度、植被、浅层地表水位等多种因素综合考虑。一般来说,在考虑尽可能减少气温影响和接近断层破碎带的情况下,观测孔的深度应选择高于本地区浅层地表水位 500mm 为宜。本项研究的观测孔深度为 6 ~ 8m。

(2) 制作集气装置。观测孔由人工开挖,如赤峪测点孔深 7.0 m,裸孔直径(ϕ) 1.2m,观测孔底部放置一根打有若干透气的小孔,直径 0.11m、长 0.6m 的 PVC 集气管,并与直径 0.05m、长度 6.7m 的 PVC 导气管相连接。导气管出露地面约 0.3m,在顶部用密封圈管口螺纹密封盖,在密封盖正中钻直径为 8mm 的孔,用于连接导气软管。为防止因浅层地表水位上升致使潮湿气体进入取样管,且又利于气体通过,在集气孔底部铺设一层透气性好的砾石层。为防气体逸出,砾石层上面铺设塑料厚膜密封,用土回填。用导气软管连接 PVC 导气管,并连接测量仪器。观测孔集气装置结构见图 4。

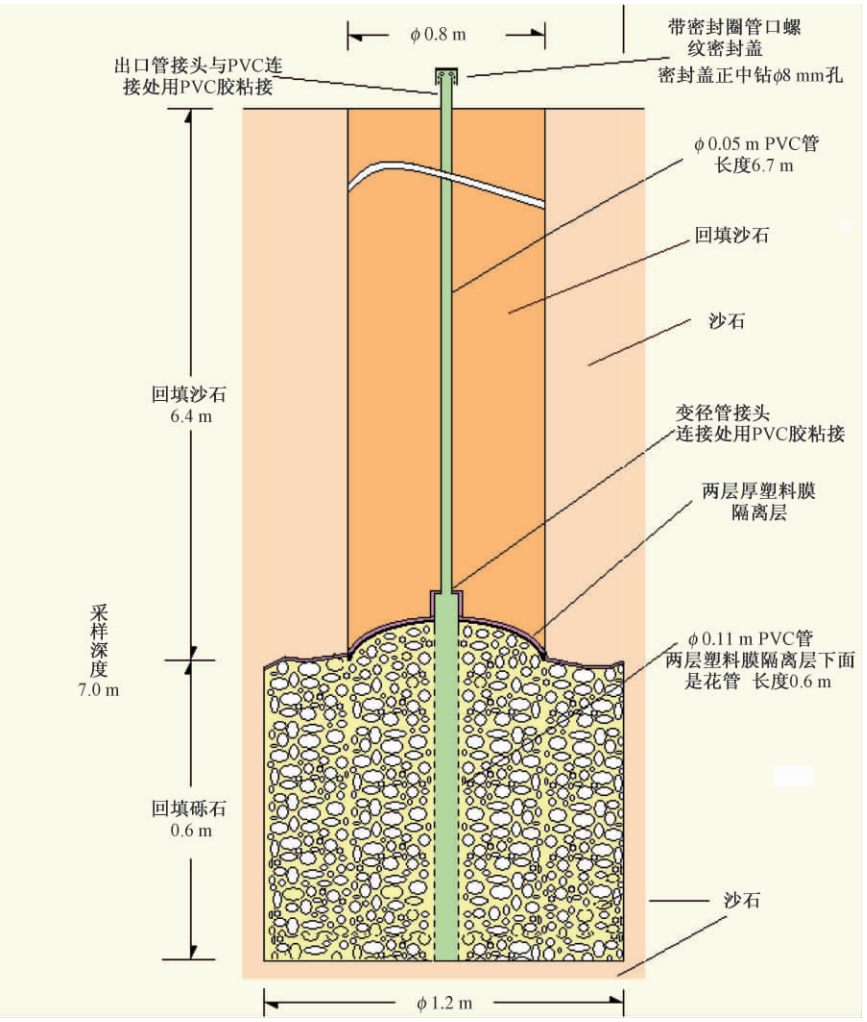

图 4　夏县赤塔断层氢气观测孔集气装置示意图

(3) 测量时间间隔。测量时间可在仪器上直接设定，根据观测点氢气浓度的含量，可设定观测时间间隔 10、20、30 和 60min 等。

(4) 数据采集。仪器观测时抽气时间 10s，抽气流量 0.3L/min，抽气总气量需 0.05L。仪器每次测定检测器输出的电压值，自动换算成氢气浓度(ppm)，观测数据直接存入仪器。

(5) 数据获取。远程获取数据，可在仪器上直接设定 IP 地址，通过网络实时接收、下载数据，或通过网页直接绘制所需时段曲线，网页界面见图 5，用痕量氢在线自动分析仪进行观测，首次实现了氢气浓度观测数字化，并记录到实时变化信息。在现场可通过 U 盘，从仪器上直接导出所需时段的数据。

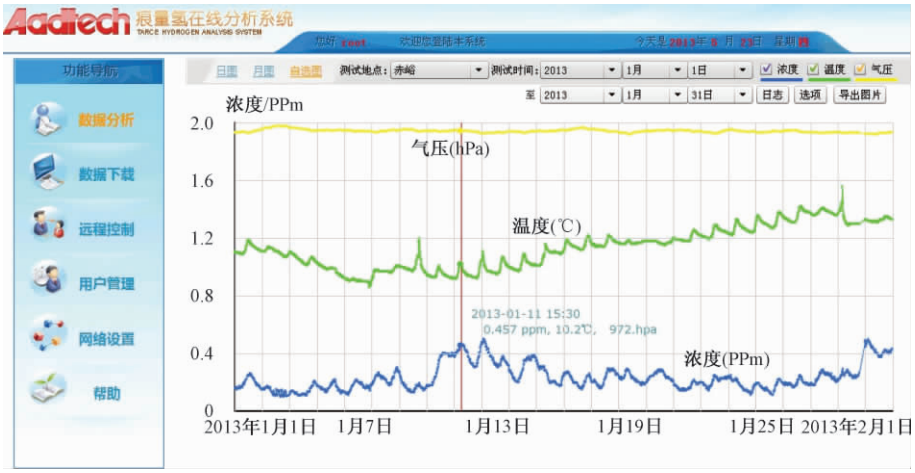

图 5 H_2 浓度观测实时监控网页界面

2 仪器的标定

2.1 标定过程

仪器标定界面中有两个参数需要设置，设置界面见图 6。

(1) 标准气体浓度。采用的是 1000ppm 浓度标准气。

(2) 标准气体体积。标定所需的气体体积，如图 6 中标准气体体积为 0.02mL。

(3) 标定操作过程。

①点击“清洗”，仪器会自动清洗管路 3 秒钟。清洗结束后，原先的“清洗”按键变成“测量”按键。仪器左下方提示请注入气体。

②用微型注射器抽取 1000ppm 浓度的气体 0.02mL，通过仪器前端的白色进样口打入气体。

③打入气体后，立即点击“测量”按键，进入标定状态。

④当仪器标定结束后，显示标定系数在标定值框中，标定结束。

图 6 仪器标定界面

2.2　仪器标定时间的确定

为了分析不同运行时间长度下该类仪器传感器的稳定性问题,需确定该类仪器在现场标定的最长时间。本项研究对已经运行 3 年的夏县 1 测点和运行 6 个月的东郭测点仪器进行了标定,根据标定结果,分析该类仪器在连续观测时需要标定的时间指标。

2.2.1　仪器长时间标定

夏县 1 测点观测仪器 2010 年 3 月开始运行,运行时间 3 年,标定结果见表 1。

表 1　夏县 1 测点仪器 2 次标定结果

标定时间(年-月-日)	标准气体浓度(ppm)	标准气体体积(mL)	标定系数 K 值
2010-04-10	1000	0.005	0.02764
2013-05-07	1000	0.005	0.01983

按下式计算 2 次标定的误差,若 $K_{老}=0.02764$,$K_{新}=0.01983$,则 2 次标定的 K 值误差为

$$\sigma=\frac{K_{老}-K_{新}}{K_{老}}\times 100\%=\frac{0.02764-0.01983}{0.02764}\times 100\%=28.3\%$$

仪器运行约 3 年后,新、老 K 值误差已达 28.3%,可见在仪器连续观测中,氢传感器灵敏度会逐渐降低。

2.2.2　仪器短期标定

东郭测点观测仪器 2012 年 11 月 27 日开始运行,运行时间近 6 个月,标定结果见表 2。

表 2　东郭测点仪器 2 次标定结果

标定时间(年-月-日)	标准气体浓度(ppm)	标准气体体积(mL)	标定 K 值
2012-11-27	1000	0.01	0.14996
2013-05-07	1000	0.01	0.14147

用下式计算 2 次标定的误差,其中,$K_{老}=0.14996$,$K_{新}=0.14147$,则 2 次标定的 K 值误差为

$$\sigma=\frac{K_{老}-K_{新}}{K_{老}}\times 100\%=\frac{0.14996-0.14147}{0.14996}\times 100\%=5.66\%$$

仪器运行约 6 个月后,新、老 K 值误差为 5.66%,可见在仪器连续观测中,6 个月内至少要对仪器进行一次现场标定,才符合仪器标定误差控制在 5% 以内的技术要求。

3　观测结果分析

3.1　同一场地不同深度的观测试验

为了研究钻孔深度对断层氢气的背景值及其动态的影响,在同一地点相距数米的小范围内钻了深度分别为 7.4m、4m、8.6m 的孔,即夏县 1 孔、夏县 2 孔和夏县 3 孔。观测点布设在中条山山前大断裂与 NW 向隐伏断裂交汇处的夏县地震台背后山洞洞口,3 个孔均位于断裂带上,属同一构造。其基本情况见表 3。

表 3 断层氢气测点基本情况

测点	孔深(m)	花管长度(cm)	背景值(ppm)	离中条山山前断裂的距离(m)
夏县 1 孔	7.4	160	1.50	0
夏县 2 孔	4.0	150	0.65	0
夏县 3 孔	8.6	180	0.59	0
赤峪孔	7.0	60	0.25	400
东郭孔	6.5	60	1.44	2500

夏县 1 孔和 3 孔相距仅 3m，在同一观测室内，该处由于岩体破碎，孔隙和裂隙比较发育，易富集和贮存气体，是地下气体较易逸出的灵敏地段。观测孔均打到断层碎裂岩，孔深 7～9m。图 7 给出不同深度对比试验结果，从图 7 可知，相同时间段比较，夏县 1 孔和 3 孔变化形态非常相似，上升、下降变化同步，只是背景值有些不同。夏县 1 孔 2010 年 4 月开始实验观测，初始背景值 0.5ppm，随着观测时间的变化，测孔周围有几次中等地震发生，目前背景值已达 1.5ppm。夏县 3 孔背景值 0.5ppm，两个孔深度相差 1.2m，均呈显著的日变规律，背景值相对稳定，变化形态的一致性较好。夏县 2 孔和夏县 3 孔相距 13m，夏县 2 孔深 4m，未到破碎带，从记录结果看，数据变化起伏和扰动较大，日变规律不清楚。由此可见，观测深度对氢气浓度的背景值及动态变化有一定影响，孔深达破碎带效果最好。

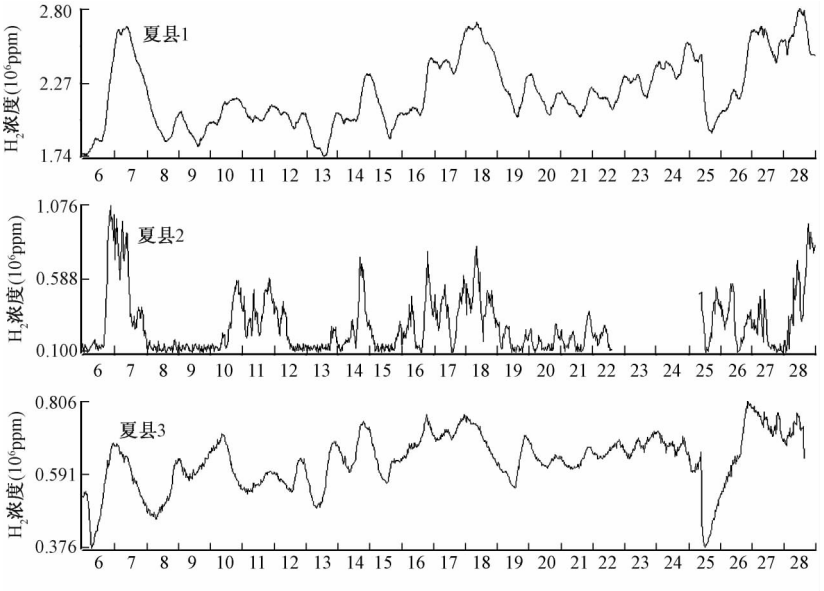

图 7 2013 年 2 月 6～28 日同一地点不同深度对比试验结果

3.2 断层位置对氢气浓度观测结果的影响

在中条山断裂附近布设了夏县 1 孔、夏县 2 孔、赤峪和东郭 4 个连续定点测点(见图 2)，形成小的区域观测网。各测点基本情况如表 3(所示)，几个测点基本位于中条山山前断裂及其附近，从记录结果(图 8)可以看出，在同一条断裂附近，小局域范围内氢气浓度出现准同步变化，能够比较好的反应同一断裂带地下气体的动态特征。各测点这种正常的动态

变化,有利于识别构造活动及地震前兆异常信息,对捕捉短临前兆异常能够提供比较可靠的信息。

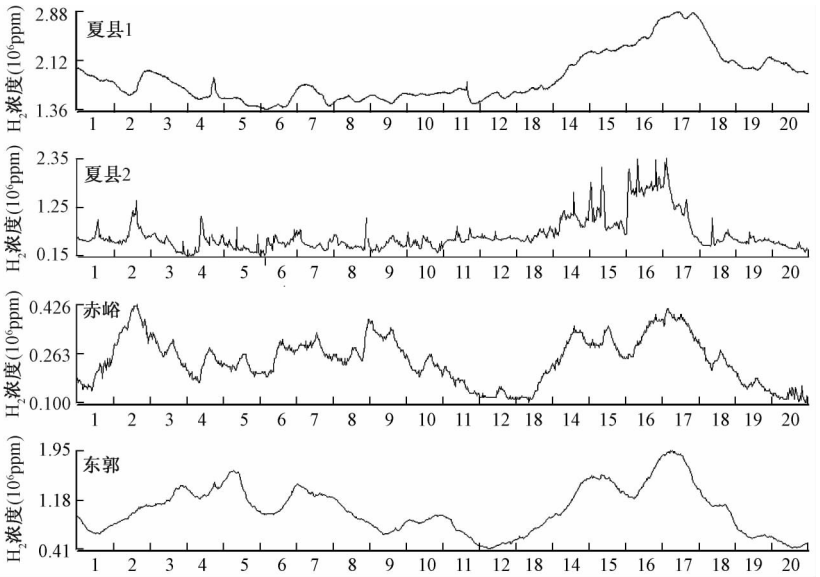

图 8　2012 年 12 月 1 ~ 20 日同一断裂带不同测点 H_2 浓度变化曲线

3.3　仪器工作温度的确定

仪器的工作温度对地震监测来说非常重要,比如室内地下流体水氡观测的室温要求为 15 ~ 25℃(国家地震局,1985),超出观测环境的温度范围可能影响仪器性能,且直接影响氡浓度的观测。按照痕量氢自动分析仪的特性,仪器的适应范围为 0 ~ 50℃,为了验证此指标,进行了如下实验。

3.3.1　仪器抗寒能力实验

对于氢观测仪可否用于地震系统,其对观测室温度有什么要求? 是否可以进行野外观测等问题并无肯定的结论。故为了检验实验仪器的抗寒能力,将仪器放在野外临时简易活动房内。在 2012 年冬季至 2013 年第一季度进行了野外连续观测。图 9 给出了夏县 2 孔氢气浓度、温度及气压的观测记录,从图中可见,在最低温度为 0.5℃时,可以记录到氢气浓度、温度和气压的观测数据,仪器工作正常。可见痕量氢在线自动分析仪可以用于野外观测,0℃以上是可以正常观测的。

3.3.2　仪器最高温度实验

按照痕量氢自动分析仪的特性,仪器的适应范围在 0 ~ 50℃。但在 25℃以上可否正常工作? 图 10 给出夏县 2 孔 2013 年 4 月氢气浓度、温度的观测结果。从图 10 中可见,在温度达 40℃时,仪器能够记录到氢气浓度变化,工作正常。可见痕量氢在线自动分析仪在工作中对室温没有过高要求。

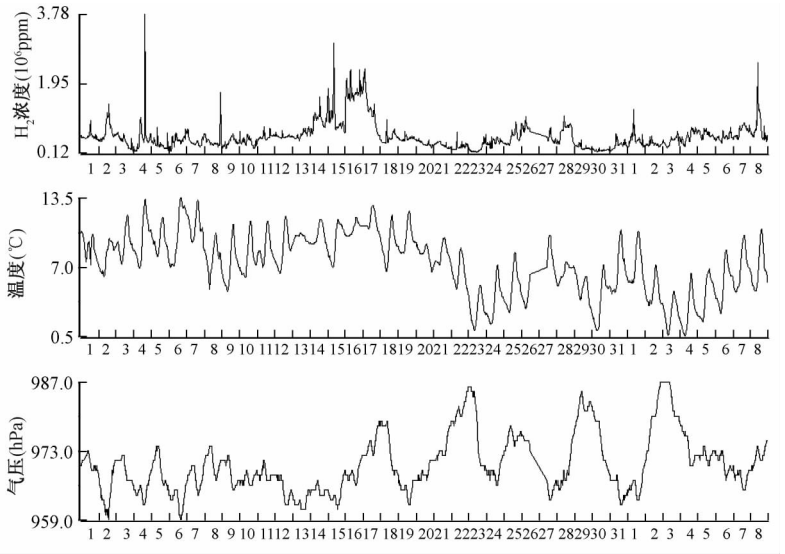

图 9 2012 年 12 月 1 日 ~ 2013 年 1 月 8 日夏县 2 孔氢气浓度、温度及气压观测微动态变化曲线

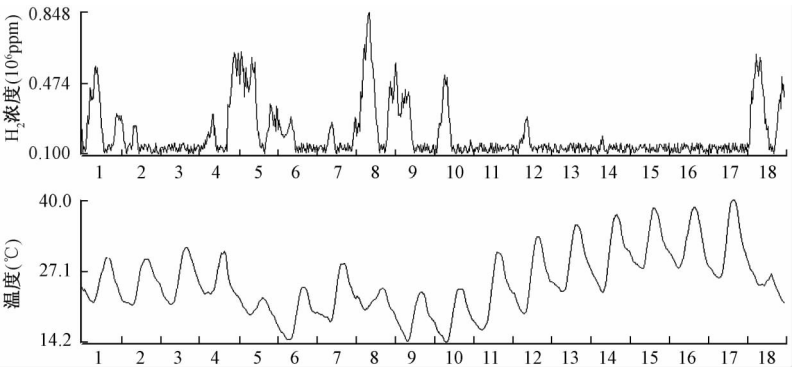

图 10 2013 年 4 月 1 ~ 18 日夏县 2 孔 H_2 浓度、温度变化曲线

4 结论及讨论

通过上面对断层氢气浓度的观测试验,得到如下初步认识:

(1) 通过集气装置试验、现场仪器标定、仪器稳定性连续观测资料分析,认为痕量氢在线自动分析仪稳定性比较好,灵敏度高,可记录断裂带土壤中氢气浓度的变化;灵敏度达 1×10^{-9},比普通气相色谱仪器的灵敏度提高了 4 ~ 5 个数量级。

(2) 该类型观测仪器至少 6 个月应标定一次,以保证仪器观测值绝对量的可靠性。仪器辅助观测项包括环境温度和气压。断层气中氢气浓度观测工作实现了无人值守,数据通过网络实时传输,满足了中国地震局数字化观测的技术要求。

(3) 观测点应布设在活动断裂的破碎带上。观测孔的深度应根据当地地貌、覆盖层厚度、植被、浅层地表水位等因素来确定。观测层位于破碎带的观测孔,观测值动态变化规律清晰。同一断层位置上的不同深度观测孔,观测结果具有准同步变化特征,当然观测孔较浅

会对观测数据的稳定性有一定影响。

(4) 分析同一断裂带不同测点的实验结果,发现在同一断裂及其附近不同测点会出现同步或准同步变化,这对异常的可靠性识别非常有利,在重点监视区或值得注意地区开展多测点断层氢气浓度观测,依据准同步异常变化信息,有望捕捉到有价值的短临地震异常信息。

利用断层土壤气预测地震是近年来发展起来的一种新方法,国内外在断层气观测实践中已获得大量震例,它已成为地震短临预测的重要手段之一。实践证明,断层土壤气观测的干扰因素(主要是气象因素)较为单一,年变规律清楚。经过短期试验认为,痕量氢在线自动分析仪适应能力较强,IP 地址直接到仪器,将观测数据通过网络实时传输,可实现在线浏览和分析,能够满足地震系统氢气观测技术的需要。另外,观测仪器很适用于野外观测,能够为地震短临监测提供新的技术支撑。

由于此项工作目前尚处于试验研究阶段,仅得到初步的结论和认识,有待通过今后的观测和总结获取新的认识。

致谢: 本研究得到杭州超距科技有限公司何镧经理、王维熙教授的支持,在此深表感谢!

参考文献

陈华静、王基华、林元武,1999,断层土壤气的观测与地震短临预报,地震,**18**(1),82 ~ 88。

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。

杜乐天,2010,地球排气作用-巨大天然气能源和重大自然灾害孕因,北京: 气象出版社。

范雪芳、黄春玲、刘国俊等,2012,山西夏县痕量氢观测资料的初步分析,山西地震,**151**(3),7 ~ 12。

范雪芳、刘国俊、张文男等,2009,数字化气汞观测高值脉冲异常分析,地震地磁观测与研究,**15**(4),57 ~ 62。

国家地震局,1985,地震水文地球化学观测技术规范,北京: 地震出版社。

刘耀炜、陈华静、车用太,2006,我国地震地下流体观测研究 40 年发展与展望,国际地震动态,(7),3 ~ 12。

林元武、翟盛华,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。

邵济安、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。

苏宗正、程新原、安卫平等,2001,山西运城盆地的中条山断裂活动断裂研究(8),120 ~ 130,北京: 地震出版社。

杉崎隆一著,张炜、唐仲兴等译校,1993,氢的逸出与地震活动性关系,日本地震地球化学研究,北京: 海洋出版社。

汪成民、李宣瑚,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。

王华林、耿杰,1991,断层气测量在平原地区活断层研究中的应用,断层气测量在地震科学中的应用,113 ~ 121,北京: 地震出版社。

张培仁、王基华,1993,氢-预报地震的灵敏元素,地震地质,**15**(1),69 ~ 77。

张炜、罗光伟、邢玉安等,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。

张炜主编,1992,水文地球化学地震前兆观测与预报,北京: 地震出版社。

Hernández P, Pérez P, Salazar J et al, 2000, Soil gas CO_2, CH_4 and H_2 distribution in and around Las Cañadas caldera, Tenerife, Canary Islands, Spain, Journal of Volcanology and Geothermal Research, **103**, 425 ~ 438.

Whiticar M J, 1999, Carbon and hydrogen isotope systematic of bacterial formation and oxidation of methane, Chemical Geology, **161**, 191 ~ 314.

Test of observation methods on the concentration of hydrogen in fault gas

Fan Xuefang[1,4] *Li Zihong*[1,2] *Liu Guojun*[2] *Huang Chunling*[2] *Wang Xiangyang*[2]

1) Earthquake Administration of Shanxi Province, Taiyuan 030021, China

2) College of Mining Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China

3) Xiaxian Seismic Station, Earthquake Administration of Shanxi Province, Xiaxian 044000, Shanxi, China

4) Nationa1 Contihenta1 Rift Vailey Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan 030025, China

Abstract In order to explore the new seismic monitoring technology and method of underground fluid, fault gas concentrations of hydrogen have been carried out at the piedmont fault zone of Zhongtiao Mountain. Through the experiment of observation positions, gas collection devices and sampling depths, we proposed fault gas observation methods of online automatic trace hydrogen analyzer. The comparative tests were done on the stability and suitable conditions of the instrument in the field environment, and the hydrogen concentrations at different measuring points of the same fault were observed. The results showed that it is feasible to carry out hydrogen concentration observation in a fault zone continuously. We suggested that the method in this study could be a useful tool for setting observation points, choosing the reasonable observation depth and scientific analysis of the observed data.

Key words: The piedmont fault zone of Zhongtiao Mountain Fault gas The concentration of hydrogen Continuous observation New technique of the earthquake monitoring