

合作市隐伏断层控制性地球化学探测场地试验^①

张 慧^{1,2}, 苏鹤军^{1,2}, 李晨桦^{1,2}

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州地球物理国家野外科学观测研究站, 甘肃 兰州 730000)

摘要:近年来在城市活断层探测中广泛开展了土壤气探测的工作。本文在合作市周边地区选择2个位于西秦岭北缘断裂西段具有典型断层露头的甘加、黄香沟场地开展了现场土壤气汞、氡浓度测试。主要结论有:(1)断层带存在明显汞、氡浓度异常,曲线的峰值能够很好地对应断层位置,而且其曲线形态能够较好的反映出断层性质与几何形态;(2)异常段上方氡、汞的峰值异常一般比背景值高出1.5倍以上,且具有成组特征(即在断层带上方超过背景值1.5倍以上的点2个以上),并具有典型正弓形曲线形态;(3)合作市地处草原,地表覆盖层匀一、稳定,外界干扰较小,植被覆盖好,不仅有利于土壤气汞、氡浓度地球化学方法进行隐伏断裂的控制性探测,同时也有利于对已知断裂活动性时空变化特征进行跟踪探测研究。

关键词:合作市; 活动断层; 土壤气; 氡、汞地球化学

中图分类号: P315.724

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)03-0618-07

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.03.0618

Field Test on the Geochemical Detection of Concealed Fault in Hezuo City

ZHANG Hui^{1,2}, SU He-jun^{1,2}, LI Chen-hua^{1,2}

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. Lanzhou National Observatory of Geophysics, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: In recent years, soil gas has rapidly developed for wide application urban active fault detection because of its fast, convenient, high-efficiency, and low-cost characteristics. The measurement methods of Hg and Rn soil gases are established and are helpful for studying active fault detection and the hazard assessment. The focus of this research is determination of the position of the concealed fault and its occurrence to ultimately provide a target for further drilling and costeaning through analysis of the anomaly concentration characteristics of Rn and Hg gases in the soil. Due to the particularity of urban environmental conditions and the complexity of geological conditions to obtain more accurate and reliable results and thus better scientific analysis conclusions, it is necessary to conduct experimental research on the fault soil gas anomaly characteristics and influencing factors in the typical fields that have fault outcrops or drilling data prior to large-scale field detection and feature analysis. The goal of this project is to promote better control of geochemical exploration in Hezuo. The Hg and Rn soil gas concentrations were tested in two typical fault outcrops of Ganjia and Huangxiang gullies near Hezuo city, which is located in the western region of the northern rim of West Qinling.

^① 收稿日期:2013-09-02; 中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2013063

基金项目:地震科技星火计划项目(XH12048)

作者简介:张 慧(1966—),女(汉族),甘肃天水人,博士,研究员,主要从事地下流体与活动构造应用研究。E-mail:zhanghui@gssb.gov.cn

通讯作者:苏鹤军(1973—)男(汉族),硕士,高级工程师,主要从事地震地下流体和地震预报研究。E-mail:suhejun@126.com

The results show that obvious anomalous concentrations of Hg and Rn gases exist in the fault zone, the peak of the concentration curve corresponds well to the fault location, and its curve can better reflect the nature and geometry of the fault. The results of six Rn and Hg measuring lines on two experimental sites indicate that the anomaly peak values are generally 1.5 times higher than the background values and are grouped. In particular, the anomaly points are usually greater than twice the 1.5 background value on the fault zone, and the curve exhibits the typical bow shape; the single abnormal point is considered to be the interference factor during observation. The Huang—Xiang gully on the west Qinling fault test site is the most typical, regardless of the instructions of abnormal points for the fault location or the response of the curve to the fault properties and geometric shape. In addition, Hezuo City is located in grassland. The surface is uniform, stable, low interferential and has beneficial vegetation cover. Therefore, it is desirable to detect the concealed fault by geochemical methods of soil gas and to trace the spatial and temporal variation characteristics of known active faults.

Key words: Hezuo city; active fault; soil gas; geochemistry of Hg and Rn

0 引言

合作市城市活断层地球化学探测的研究区域范围为 $E102.030^{\circ} \sim 104.184^{\circ}$, $N33.137^{\circ} \sim 36.521^{\circ}$ 。研究区位于青藏高原东北部断块区、秦岭断块区与鄂尔多斯稳定区的交汇部位,新构造活动十分强烈,以断裂和断块活动为基本特征。研究区内主要分布西秦岭山系,为中高山区,由一系列平行的山脉及山间盆地所组成。山间盆地多为新生代断陷盆地,如冶力关盆地、临潭盆地等。

合作市活断层地球化学探测项目围绕解决城市范围内的断层定位、深部流体活动特征等一系列科学问题,主要任务是确定隐伏断层的位置及其产状,最终达到为进一步的钻探和槽探提供目标靶区的目的。大量城市活断层地球化学探测的实践证明,利用土壤气汞、氡地球化学方法开展城市隐伏断裂的勘查,通常受地质、气象及地表环境条件的影响,如温度、气压、湿度特别是地表覆盖层条件及地表岩石碎屑等^[1-8]。为了使测量结果更精确可靠,分析和结论更为科学,在开展大规模的野外探测及特征分析之前选择有断层露头或有钻孔资料的典型场地开展试验研究是十分必要的^[9-11]。场地试验的目的就是验证土壤气汞、氡地球化学探测方法在该地区应用的有效性与可行性,即在已知断层上选择有断层露头或有探槽资料的典型场地针对性较强地开展了方法测试工作,通过对各场地土壤气异常特征分析,并结合理论基础,识别出能够反映该地区断层位置、断层产状、倾向、倾角及断层性质的典型断层气浓度曲线特征,为进一步对研究区内其它隐伏断层控制性探测的提供重要依据,提高方法利用的科学性与可

靠性。因此,合作市活断层地球化学探测选取具有较好断层露头的甘加和黄香沟开展野外场地试验(图 1)。

1 测线的布设、测项及取样方法

1.1 测线的布设

垂直断层走向进行测点的布设,各测线测点间距 10 m。发现异常点后立即进行复测,并在异常段进行加密观测,点距为 5 m。

1.2 测量项目和取样方法

现场土壤气氡、汞测量同步进行,严格按有关规范要求。使用的两台 FD—3017RaA 测氡仪均事先进行了标定和一致性实验, K 值分别是 0.169 3 和 0.166 9。该仪器为一种瞬时测氡仪器,利用静电收集氡衰变的第一代子体 RaA 作为测量对象来定量测定土壤中的氡浓度,极限探测灵敏度为 0.37 Bq/L。该仪器的特点是没有探测器污染问题,也不存在钍射气的干扰,具有较高的灵敏度,简捷,在剖面连续测量中获取一个点的数据仅数分钟现场即可出数。

汞测量仪器为 JM—4 数字金膜测汞仪,可以在现场测定极微量的汞。该仪器具有体积小、轻便、灵敏度高、稳定性好等特点,最低检出限为 10^{-2} ng-Hg。每天取样之前首先作三个标准样对测汞仪标定后才开始正式对土壤气进行取样、测量。使用灵敏度=(注射汞蒸气体积 # 单位体积汞含量)/几次注射后的平均读数。

取样方法是:首先用钢钎打一个导向眼插入取样器,用橡皮管将 FD—3017RaA 测氡仪与取样器

连接,排出橡皮管内及取样器内的残留气体,然后开始正式取氢样。取样体积为 1.5 L。完成氢的取样后,再将取样器与 JM-4 数字金膜测汞仪及大气采样仪连接,流速 0.5 L/min,抽气时间 2 min,取样体积为 1 L。

2 异常识别依据及数据处理方法

(1) 在进行测量数据处理时我们采用平均值与均方差的概念。其中汞的平均值与均方差分别用 K 和 1 表示,氢的平均值与均方差分别用 R 和 2 表示。取平均值作为背景值,并取 $K+1$ 与 $R+2$ 分别作为土壤气汞、氢异常下限。背景值与异常下限是整个数据分析时主要的两个异常判断依据。

(2) 深部地下流体沿着断裂带向上运移和富集,在断裂带上方形成了漏斗形的土壤气体异常晕。因此,土壤气汞、氢浓度测量曲线上指示断层位置的典型异常形态为“低—较高—高—较高—低”的峰值

形态^[12]。根据测值曲线上峰值异常的形态特征对异常界面进行产状判定:各测线峰值异常的连线为异常界面的走向;一般峰值异常为不对称形态,不对称峰转折陡变部位为断层上断点地表投影;缓变一侧为界面的倾向。

(3) 直立正断层上方气氢、气汞异常值相对较低,异常带宽度也小,而倾角较缓的逆冲断层由于在断层上盘羽状节理和裂隙往往都比较发育,地下气体可以在这里向上运移和富集,因此形成了较大宽度的气体异常带,因此根据异常带的宽度和峰值形态可以判断断层的性质。

3 场地试验

场地试验区位于西秦岭北缘断裂西段,共设甘加和黄香沟两个场地试验区。共计 6 条测线,测线总长 1.29 km,共 127 个测点,测量点距为 10 m(表 1),在断层附近加密测量,点距为 5 m。

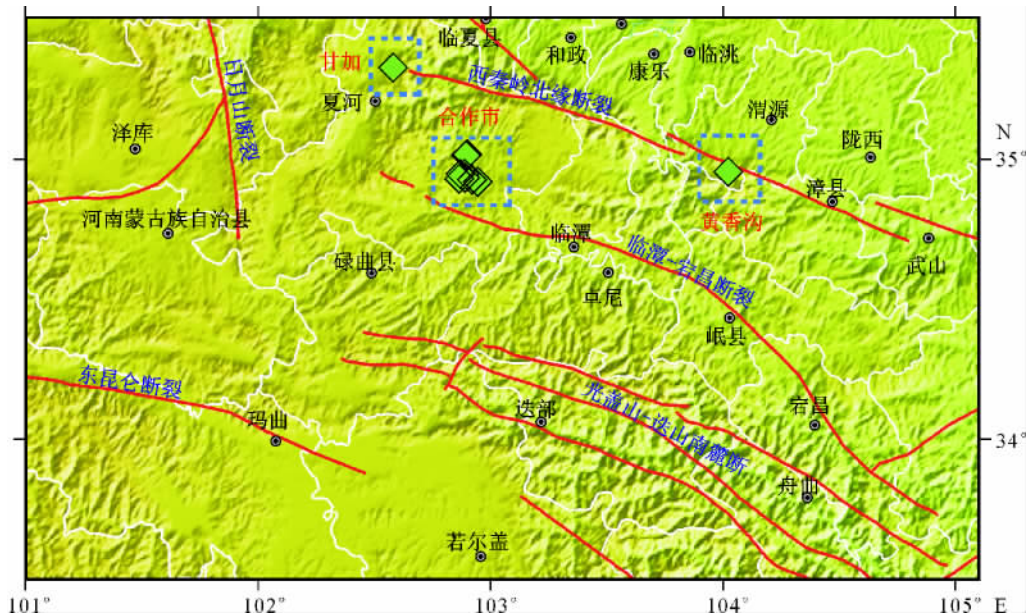


图 1 合作市地球化学活动断层探测目标区域示意图

Fig. 1 The target area of the geochemical detection of activity fault in Hezuo

表 1 合作市活断层地球化学探测场地试验测线一览表

Table 1 The test lines of list of geochemical detection on active fault in Hezuo

地名	测线	起点		终点		长度/m	点数/个	点距/m
		纬度/(°)	经度/(°)	纬度/(°)	经度/(°)			
夏河	HT1	35.32375	102.58011	35.32456	102.58010	75	16	5
	HT2	35.32286	102.57206	35.32378	102.57200	125	15	5/10
黄香沟	HT3	34.95572	104.02364	34.95428	104.02310	180	24	5/10
	HT4	34.94669	104.04586	34.94461	104.04510	250	30	5/10
	HT5	34.94239	104.05911	34.94053	104.05880	210	20	5/10
	HT6	34.93694	104.07583	34.93558	104.07460	200	22	5/10

3.1 西秦岭北缘断裂带地质构造背景与测线分布

西秦岭北缘断裂是一条大型近东西向的左旋走滑活动断层,西起青海贵德,往东南经尖扎、循化,过甘肃临夏、漳县、至甘肃天水境内,长约 440 km。研究表明该断裂主要由左阶羽列的 6 条自然次级断裂组成,自东向西分别是鸳鸯镇—凤凰山断裂、酸刺湾—三岔断裂、漳县断裂、扎那山—白石山断裂、锅麻滩南缘—羊毛沟断裂、围子山—大槐沟断裂。其中漳县断裂和围子山—大槐沟断裂在卫星像片上线状影像清晰,在甘加、黄香沟两地地表具有明显的断层

陡坎和地表出露,为开展地球化学场地探测试验的理想场所。甘加场地位于夏合县东北甘加境内,自东向西布设了 2 条测线,分别是:(I) HT1 剖面,长约 125 m,共 16 个测点;(II) HT2 剖面,长约 75 m,共 15 个测点。黄香沟场地位于渭源县城西南黄香沟段,从东到西共布置了 4 条测线,分别是:(I) HT3 剖面,长约 180 m,共 24 个测点;(II) HT4 剖面,长约 250 m,共 30 个测点;(III) HT5 剖面,长约 210 m,共 20 个测点;(IV) HT6 剖面,长约 200 m,共 22 个测点(图 2)。

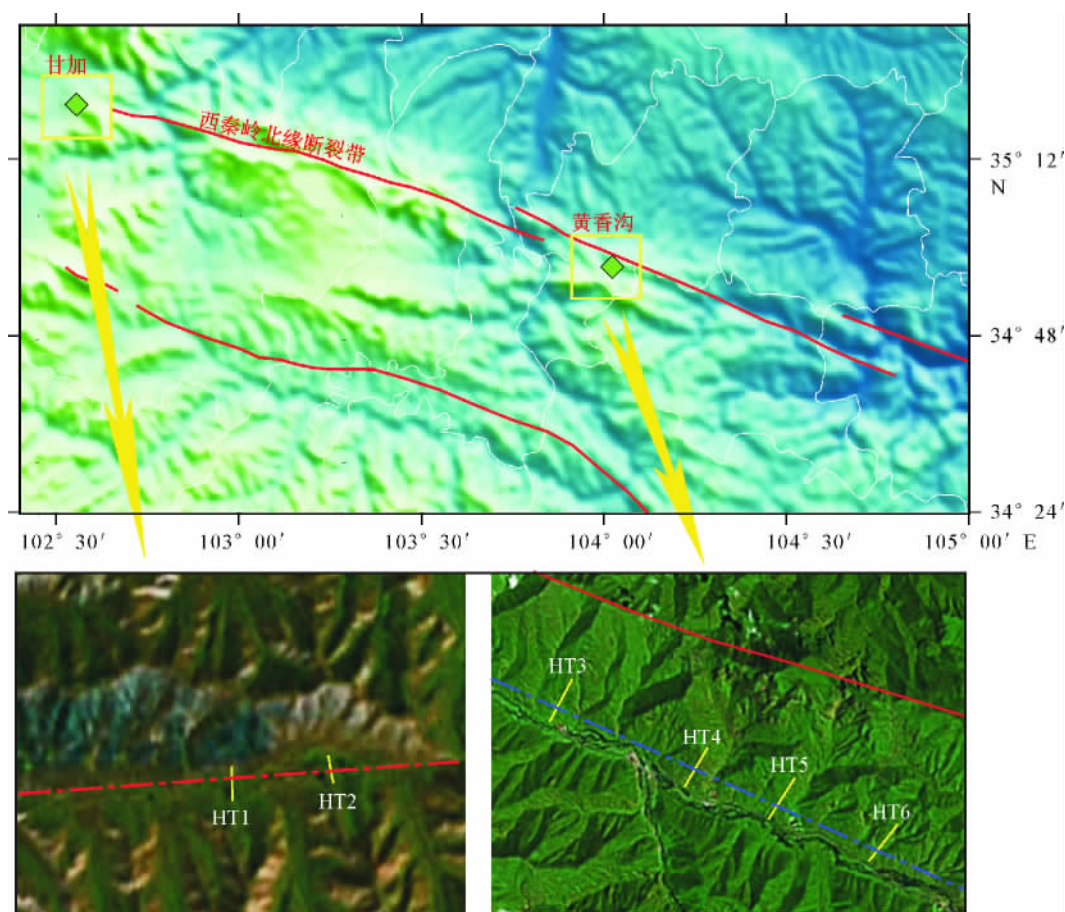


图 2 西秦岭北缘断裂带上土壤气氦、汞场地试验测线分布示意图

Fig. 2 The images of Northern margin fault of west Qinling and test lines across the fault

3.2 测量结果与异常分析

3.2.1 甘加试验场地

图 3 为甘加场地土壤汞、氦浓度变化曲线,由图可见 HT1 剖面汞、氦浓度在陡坎处均出现了一组“低—高—低”峰值形态。其中汞浓度曲线的最大峰值为 0.228 6 ng/L,高于异常下限值 0.219 42 ng/L,约为背景值 0.168 59 ng/L 的 1.4 倍;氦浓度最高值为 12.697 5 Bq/L,是背景值 5.121 3 Bq/L

的 2.5 倍。

HT2 剖面土壤汞、氦浓度变化曲线在陡坎处均出现了一组“低—高—低”的峰值形态,但与断层位置稍有错位。其中汞浓度曲线的最大峰值为 0.137 16 ng/L,高于异常下限值 0.124 46 ng/L,约为背景值 0.100 58 ng/L 的 1.4 倍;而氦浓度最高值为 6.094 8 Bq/L,是背景值 3.436 8 Bq/L 的 1.8 倍。

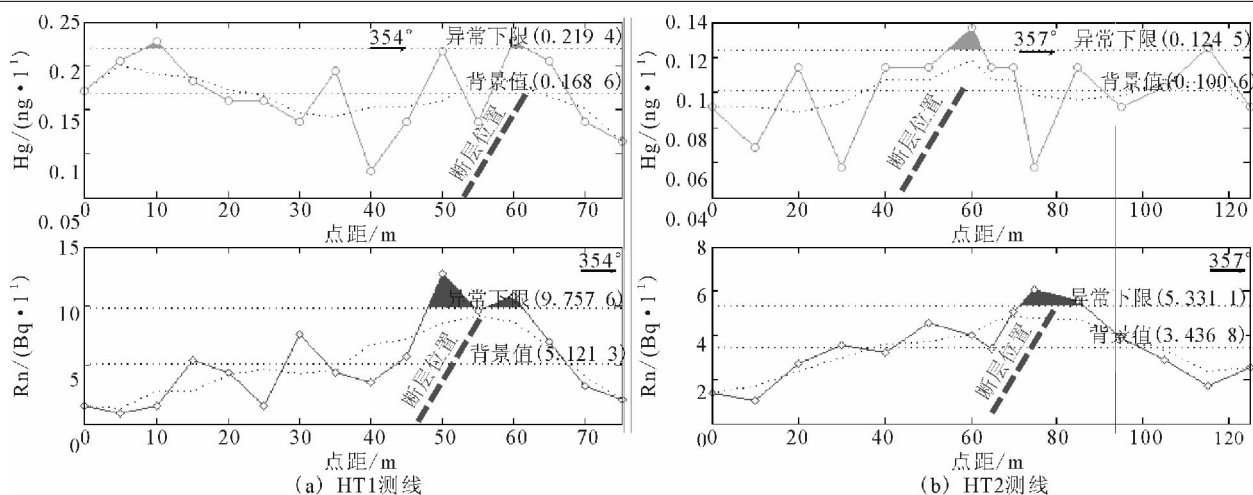


图3 甘加场地土壤气汞、氡浓度变化曲线及峰值异常形态分析图

Fig. 3 The curves of soil gas Hg and Rn at Ganjia site

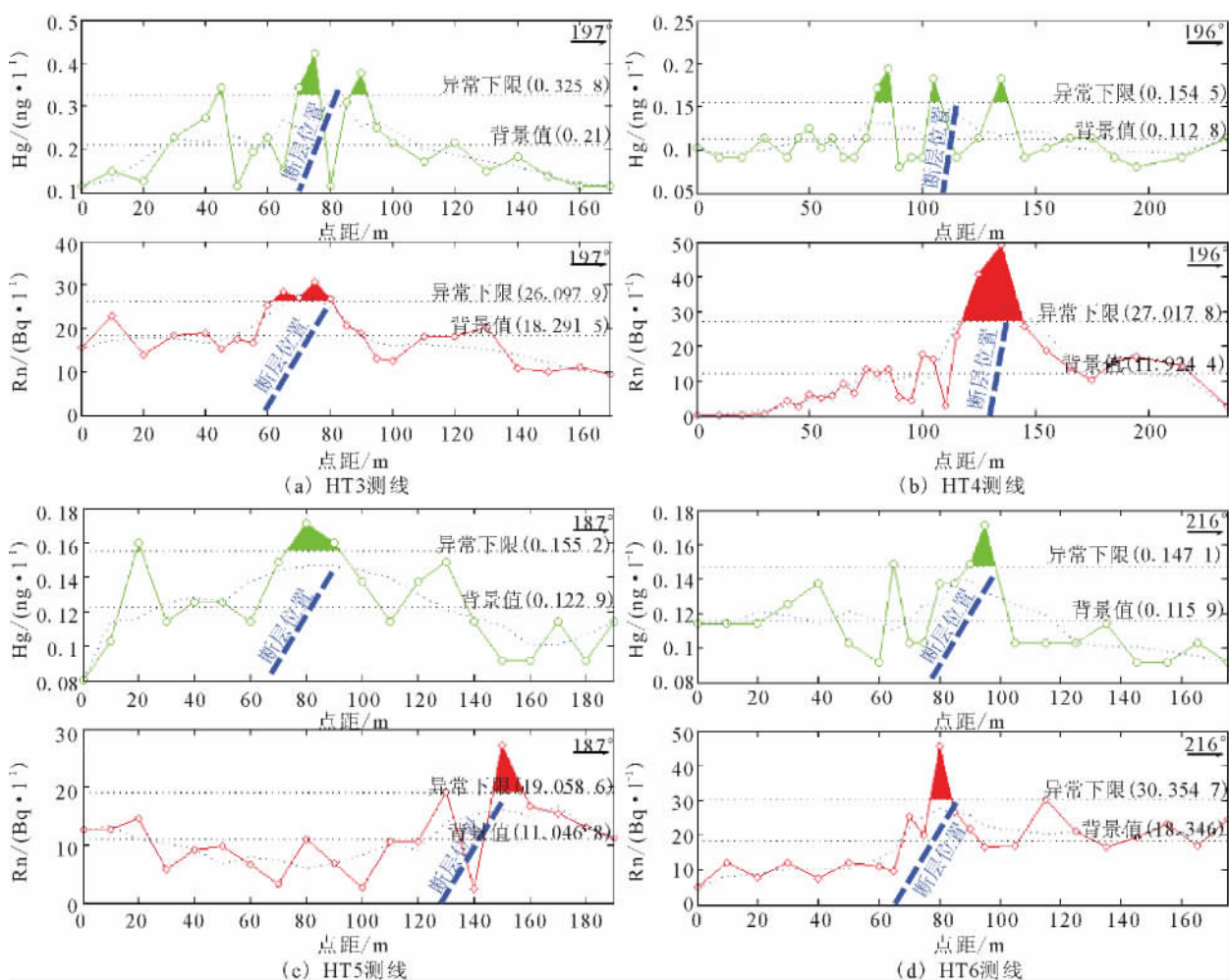


图4 黄香沟场地土壤气汞、氡浓度变化曲线及峰值异常形态分析图

Fig. 4 The curves of soil gas Hg and Rn at Huangxiang gully site

3.2.2 黄香沟试验场地

图4为黄香沟场地土壤气汞、氡浓度变化曲线及峰值异常形态分析图。由图可见HT3剖面土壤

气汞、氡浓度在陡坎处均出现了峰值形态。其中汞浓度曲线呈多峰,最大峰值为0.422 91 ng/L,高于异常下限值0.325 76 ng/L,约为背景值0.210 03

ng/L 的 2.0 倍。峰值形态南陡北缓,对断层的倾向有较好的反映。氡浓度峰曲线呈单峰形态,其最高值为 30.643 3 Bq/L,是背景值 18.291 5 Bq/L 的 1.7 倍。

HT4 剖面土壤气汞、氡浓度变化曲线在陡坎处均出现了峰值形态。其中汞浓度曲线呈多峰,最大峰值为 0.194 3 ng/L,高于异常下限值 0.154 47 ng/L,为背景值 0.112 78 ng/L 的 1.7 倍;氡浓度曲线呈单峰形态,其最高值为 49.266 3 Bq/L,是背景值 11.924 4 Bq/L 的 4.1 倍。土壤气汞、氡浓度变化曲线及峰值异常形态均表现出南陡北缓的特征。

HT5 剖面土壤气汞、氡浓度变化曲线在陡坎处均出现了峰值形态。其中汞浓度曲线呈多峰,最大峰值为 0.171 45 ng/L,高于异常下限值 0.155 23 ng/L,约为背景值 0.122 87 ng/L 的 1.4 倍;而氡浓度峰曲线呈单峰形态,其最高值为 27.088 Bq/L,是背景值 11.046 8 Bq/L 的 2.5 倍。

HT6 剖面土壤气汞、氡浓度变化曲线在陡坎处均出现了峰值形态。其中汞浓度曲线呈多峰,最大峰值为 0.171 45 ng/L,高于异常下限值 0.147 09 ng/L,约为背景值 0.115 86 ng/L 的 1.5 倍;而氡浓度峰曲线呈单峰形态,其最高值为 45.541 7 Bq/L,是背景值 18.346 1 Bq/L 的 2.5 倍。

甘加和黄香沟两个试验场地土壤气汞、氡浓度测试结果显示 6 条测线土壤气汞、氡浓度都有明显的异常浓度显示,其浓度曲线峰值异常点均能够很好地反映断层位置。其中黄香沟试验场地的 HT3—HT6 剖面测试效果尤为显著,多条曲线峰值异常出现南陡北缓的不对称形态,反映断层北倾,与野外地质勘察结果一致。

4 结论与讨论

利用地球化学探测方法,在已知典型活动断层(西秦岭北缘断裂)的两个试验场地上进行土壤气汞、氡浓度探测,其结果均显示出明显异常特征,其浓度曲线峰值能够指示断层位置,而其曲线形态能够较好的反映出断层性质,因此我们认为该地区土壤气汞、氡浓度测量的地球化学方法是一种可行、有效的活动断层探测方法。

(1) 从两个试验场地的 6 条测线来看,土壤气汞、汞测值曲线在断裂带上方均具有明显的异常显示,各测线均出现峰值异常,峰值与背景值具有明显的差异,而且每条测线上出现的峰值十分显著,易于识别。6 条剖面所出现的异常区域都发生在断层的

上盘或上、下盘,与断层出露位置具有很好的对应关系。

(2) 异常段上方汞、汞的峰值异常一般比背景值高出 1.5 倍以上,且具有成组特征,即在断层带上方超过背景值 1.5 倍以上的点 2 个以上,并具有典型正弓形曲线形态(单点异常大多数被认为是观测中的干扰因素造成),以西秦岭断裂带上的黄香沟试验场地最为典型,无论是异常点对断层位置的指示,还是浓度曲线形态对断层性质与几何形态的反映都有理想的效果。

(3) 合作市所在区域为草原,地质条件均一,受外在因素影响小,其氡背景值较高,异常也比较明显,植被覆盖良好、非常有利于土壤气汞、氡浓度地球化学方法进行隐伏断裂的控制性探测。

(4) 前人研究结果显示汶川大地震对甘东南及甘川交接地区断裂有明显影响,特别是对西秦岭构造区中东部、六盘山断裂中南段、秦岭北麓与渭河断裂的西段的影响显著,其中对西秦岭构造区中东部的大范围区域应变积累可能呈以增强为主的影响^[12],2013 年 7 月 22 日岷县漳县 6.6 级地震的发生标志甘东南地区地震活动进入新的活跃阶段,因此,甘东南作为全国地震危险区未来应加强地震监测与短临异常跟踪。作为开展合作市控制性地球化学探测场地试验的 6 条断层气剖面不仅位于该地区西秦岭北缘深大断裂带上,且曲线背景稳定、断裂带峰值异常形态典型,具有灵敏的断层活动响应。可作为今后开展地震监测、断层活动及未来甘东南地震趋势预测判定的断层土壤气监测点进行长期监测。

参考文献(References)

- [1] G Neukum, J Oberst, H Ho mann, et al. Geologic Evolution and Cratering history of Mercury[J]. Planetary and Space Science, 2001, 49: 1507-1521.
- [2] Mark A Engle, Mae Sexauer Gustin, Hong Zhang. Quantifying Natural Source Mercury Emissions from the Ivanhoe Mining District, North-central Nevada, USA[J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 3987-3997.
- [3] M Viladevall, X Font, A Navarro. Geochemical Mercury Survey in the Azogue Valley (Betic area, SE Spain)[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1999, 66: 27-35.
- [4] 张炜, 罗光伟, 邢玉安, 等. 气体地球化学方法在探索活断层中的应用[J]. 中国地震, 1988, 4(2): 121-123.
ZHANG Wei, LUO Guang-wei, XIN Yu-an, et al. The Application of Gas Geochemical Method for Exploring Active Fault[J]. Earthquake Research in China, 1988, 4(2): 121-

123. (in Chienes)
- [5] 阎贤臣,张增,王长岭. 活断层上覆土壤中气体成分特征[J]. 中国地震, 1987, 3(4): 52-59.
YAN Xian-cheng, ZHANG Zeng, WANG Chang-ling. The Feature of Soil Gas Composition in the Active Fault [J]. Earthquake Research in China, 1987, 3(4): 52-59. (in Chienes)
- [6] 汪成民, 宇文欣, 周旭明, 等. 从断层气测量结果看德都地震[J]. 中国地震, 1989, 5(2): 57-62.
WANG Chen-ming, YU Wen-xin, ZHOU Xu-ming. et al. The Dedu Earthquake from the Results of Fault Gas Measurement [J]. Earthquake Research in China, 1989, 5(2): 57-62. (in Chienes)
- [7] 朱自强, 汪成民, 宇文欣, 等. 大同—阳高 6.1 及地震现场断层气测量结果的初步分析[J]. 地震, 1990, (4): 75-80.
ZHU Zi-qiang, WANG Cheng-ming, YU Wen-xin, et al. Analysis of the Field Gas Measurement in Datong—Yanggao Ms6.1 Earthquake [J]. Earthquake, 1990, (4): 75-80. (in Chienes)
- [8] 汪成民, 李宣瑚, 魏柏林. 断层气测量在地震科学中的应用 [M]. 北京: 地震出版社, 1991.
WANG Chen-min, LI Xuan-hu, WEI Bo-lin. The Application of Fault Gas Measurement in Earthquake Science [M]. Beijing: Seismological Press, 1991. (in Chienes)
- [9] 张慧, 张新基, 苏鹤军, 等. 兰州市活动断层土壤气汞、氡地球化学特征场地试验[J]. 西北地震学报, 2010, 32(3): 273-278.
ZHANG Hui, ZHANG Xin-ji, SU He-jun, et al. Field Test on the Geochemical Features of Radon and Mercury from Soil Gas on the Active Faults in Lanzhou [J]. Northwestern Seismological Journal, 2010, 32(3): 273-278. (in Chienes)
- [10] 赵振荣, 张新基, 苏鹤军, 等. 玛曲断裂带土壤气汞、氡地球化学特征[J]. 西北地震学报, 2011, 33(4): 376-379.
ZHAO Zhen-sheng, Zhang Hui, Su He-jun, et al. The Geochemical Features of Mercury and Radon on Maqu Active Fault [J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(4): 376-379. (in Chienes)
- [11] 朱金芳, 黄宗林, 徐锡伟, 等. 福州市活断层探测与地震危险性评价[J]. 中国地震, 2005, 21(1): 1-16.
ZHU Jin-fang, HUANG Zong-lin, XU Xi-wei, et al. Active Faults Exploration and Seismic Hazard Assessment in Fuzhou City [J]. Earthquake Research in China, 2005, 21(1): 1-16. (in Chienes)
- [12] 张希, 张晓亮, 张四新, 等. 青藏块体东北缘近期 GPS 水平运动特征与汶川地震影响[J]. 地震研究, 2010, 33(4): 265-268.
ZHANG Xi, ZHANG Xiao-liang, ZHANG Si-xin, et al. Features of Current Horizontal Movement Observed by GPS and Influence of the Great Wenchuan Earthquake in the Northeastern Margin of Qinghai—Xizang Block [J]. Journal of Seismological Research, 2010, 33(4): 265-268. (in Chienes)