

兰州市活动断层土壤气汞、氡地球化学特征场地试验

张 慧^{1,2}, 张新基¹, 苏鹤军^{1,2}, 刘旭宙^{1,2}

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000)

摘要:在兰州市主要活动断层上选择有断层露头或有钻孔资料的典型场地开展了断裂带土壤气异常特征及其影响因素的试验研究。结果显示断层带上方土壤气氡、汞不仅具有明显的峰值异常显示,而且其异常的形态特征对断层产状和断层性质有显著的反映,断层土壤气测量是活断层探测和研究的有效方法。结果还显示覆盖层厚度对断层带土壤氡、汞浓度的峰值形态及特征具有显著的影响。

关键词:兰州; 活动断层; 土壤气; 氡、汞地球化学; 场地试验

中图分类号: P593 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2010)03-0273-06

Field Test on the Geochemical Features of Radon and Mercury from Soil Gas on the Active Faults in Lanzhou

ZHANG Hui^{1,2}, ZHANG Xin-ji¹, SU He-jun^{1,2}, LIU Xu-zhou^{1,2}

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

2. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Science, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Concentrations of radon and mercury in soil gas which were obtained on the main active faults in Lanzhou city are measured. The sample points were selected at the site where the outcrop of fault exists or there are borehole data. The result shows that not only the peak-value anomalies of radon and mercury in soil gas on the active fault show obviously, but also their shape characters reflect the fault location, fault property, and fault attitude well. It is proved that gas survey is a useful method for active fault exploring and study. The result shows also that the shape and characteristics of peak-value anomaly of radon and mercury concentrations in soil gas on fault zone are affected by the overburden thickness.

Key words: Lanzhou city; Active fault; Soil gas; Radon and mercury geochemistry; Field test

0 引言

大量震例表明活动断层是造成城市地震灾害的最大因素,活动断层产生的直下型地震对城市造成的最严重破坏直接来自沿活动断层的同震地表错动以及地震波引起的振动效应。兰州地区位于新构造活动强烈的青藏活动地块的东北缘,处在祁连山地震带与南北地震带的复合部位。区内多组活动构造交汇,具有孕育和发生中强以上地震的构造条件。历史上兰州地区曾多次遭受过强震的袭击和影响,

如1125年兰州7级地震^[1],138年金城-陇西6 $\frac{3}{4}$ 级地震和宛川6级地震等^[2],造成相当严重的灾害。为了减轻城市可能遭遇的地震损失,更合理地进行城市规划和抗震设防,在兰州市及其邻近地区开展活断层探测和地震危险性评价的研究具有重要的减灾意义。

近年来利用土壤气开展城市活断层探测由于其方便、快捷、高效和低成本等特点而在世界范围内得

收稿日期:2009-11-12

基金项目:中国地震局“十五”重点建设项目——兰州市活断层探测与地震危险性分析(1-4-48);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2010036

作者简介:张 慧(1966-),女(汉族),甘肃天水人,博士,研究员,主要从事地震地下流体应用基础理论研究。

到迅速发展和广泛的应用^[3-7]。其中汞、氡观测技术相对成熟,因此在活断层探测与危险性评价的研究中具有重要的地位^[8-12]。研究重点是通过土壤气汞、汞浓度异常特征分析,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。由于各个城市所处的环境条件的特殊性和地质情况的复杂性,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断裂带土壤气异常特征及其影响因素的试验研究是十分必要的。本文选择在兰州市区3条主要活动断层上开展土壤气汞、氡的野外场地测试。

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0.1693和0.1669。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} ngHg。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,然后开始正式取氡样。取样体积为1.5 L。完成氡的取样后,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。

表1 测量仪器性能指标

仪器名称	测项	检出限	重复测量误差
JM-4 数字金膜测汞仪	Hg	≤0.01 ng	≤±10%
FD-3017Rn 测氡仪	Rn	≤0.37 Bq/L	≤±10%

2 场地试验

2.1 孔家崖场地

2.1.2 场地基本条件和测线的布设

该场地位于兰州市安宁区孔家崖,为一个320 m×200 m的近长方形的建筑场地(图1)。前期开展了建筑场地钻孔勘探,3条钻孔剖面均显示该场地地层不连续,存在一个倾向S的断错面,断面的倾角较大,在70°~80°之间(图2)。地质调查结果认为该断面即为刘家堡断层。

从西到东共设了4条土壤气氡、汞测线,其中I、II、IV号剖面与钻孔剖面重复布设。4条测线分别是:I号剖面,长90 m,共10个测点;II号剖面,长90 m,共10个测点;III号剖面,长190 m,共20个测点;IV号剖面,长100 m,共有10个测点(图1)。场地为三年以上回填土及荒地。

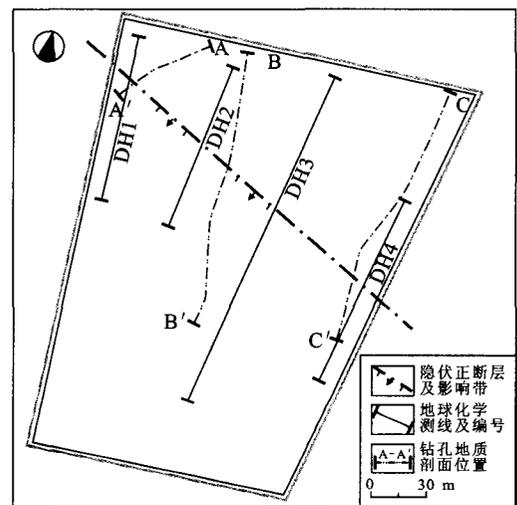


图1 孔家崖场地钻孔剖面及土壤气测量剖面示意图

Fig. 1 Diagrammatic cross-section of borehole and soil gas at Kongjiaai site.

2.1.2 断层土壤气氡、汞测量结果

图3(a)、(b)、(c)、(d)分别为I、II、III和IV号剖面土壤气氡、汞浓度变化曲线。由图可见,I号剖面上汞没有明显的峰值异常显示,氡出现了一组明显的峰值异常,最高达11.00 Bq/L,是背景浓度值2.88 Bq/L的3.82倍;II号剖面汞出现了一组峰

值,最高点为0.205 7 ng/m³,是背景浓度值0.036 3 ng/L的5.67倍,氡没有明显的异常显示;Ⅲ号剖面

汞出现了一个单点高值异常,为0.137 2 ng/L,是背景浓度值0.039 7 ng/L的3.46倍,氡出现了一组明

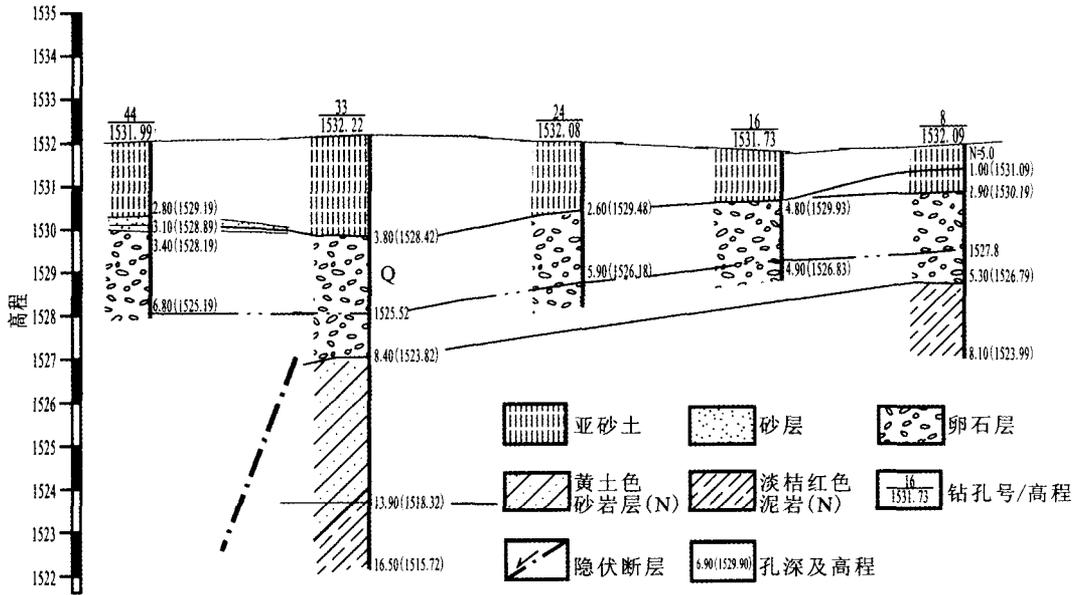


图2 孔家崖实验场地钻孔资料(袁道阳提供)

Fig.2 The borehole data at Kongjiaai test site (by Yuandaoyang).

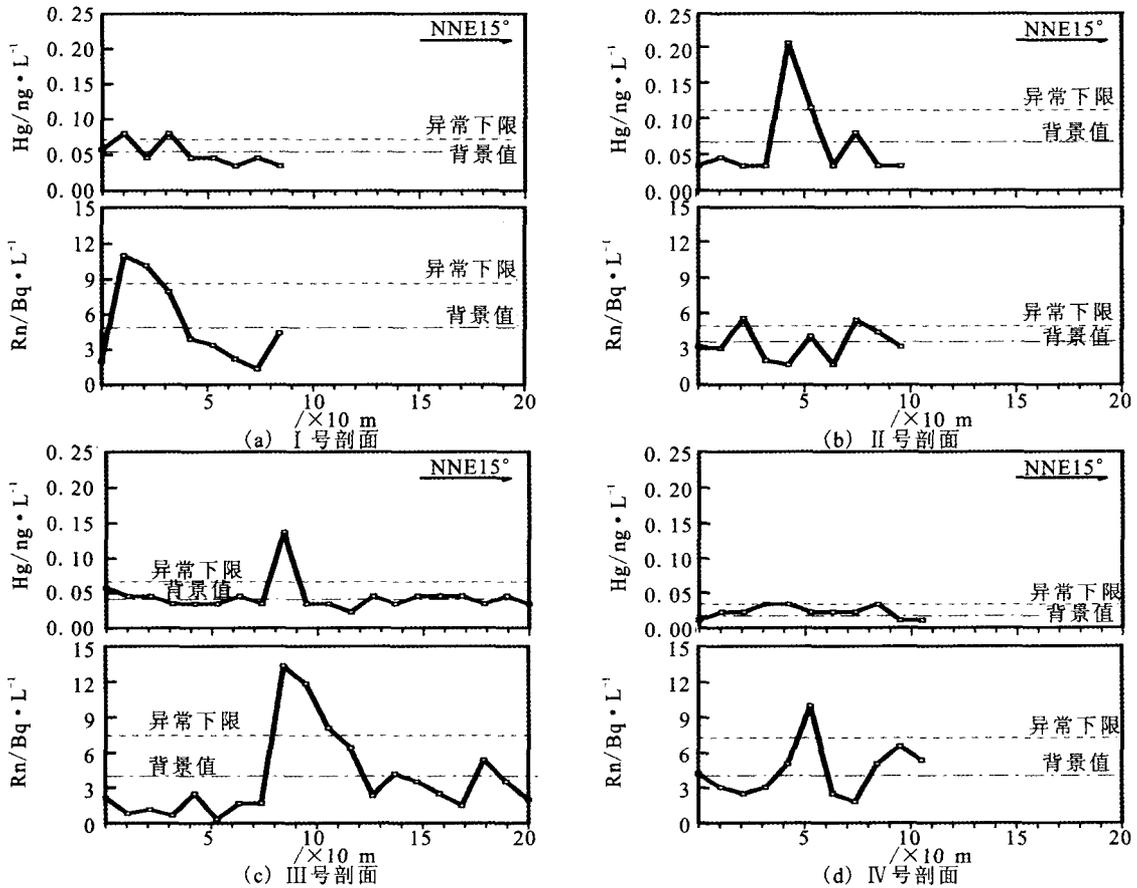


图3 孔家崖实验场地土壤气汞、氡异常变化曲线

Fig.3 The abnormal variation curves of radon and mercury in soil gas at Kongjiaai site.

显的峰值异常,最高点氡浓度达 13.37 Bq/L,是背景浓度值 2.05 Bq/L 的 6.52 倍;IV号剖面汞浓度整个偏低,没有明显的异常显示,氦出现了一组明显的峰值异常,最高点达 9.99 Bq/L,是背景浓度值 3.95 Bq/L 的 2.53 倍。

2.1.3 异常识别

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 δ_1 表示,氦的平均值与均方差分别用 R 和 δ_2 表示。取平均值作为背景值,并取 $K + \delta_1$ 与 $R + \delta_2$ 分别作为土壤气汞、氦异常下限。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(表 2)。

表 2 测线土壤气汞、氦的数据分析

测线	K	δ_1	$K + \delta_1$	R	δ_2	$R + \delta_2$
I	0.052 1	0.016 3	0.067 4	5.154 2	3.420 7	8.574 9
II	0.065 2	0.053 4	0.118 6	3.436 8	1.438 1	4.784 9
III	0.044 6	0.022 5	0.067 0	3.809 3	3.516 6	7.325 9
IV	0.022 9	0.008 4	0.031 3	4.494 2	2.235 9	6.730 1

2.1.4 土壤气汞、汞浓度异常特征及其与断层特性的关系

典型的土壤气氦、汞的异常形态为低→较高→高→较高→低的峰值形态,且峰值形态不对称。I、II、III剖面的氦、汞的高值不对称峰的转折陡变部位与钻孔剖面显示的断错面的位置一致。

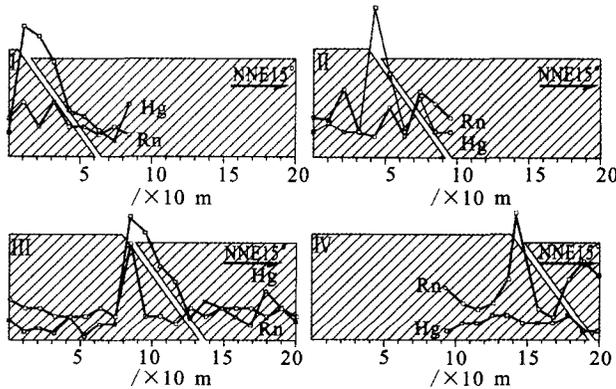


图 4 孔家崖场地土壤气测量结果与断层倾向关系示意图

Fig. 4 The sketch map of relationship between abnormal variation surves of radon and mercury in soil gas and the fault dips at Kongjiaai site.

氦的峰值异常具有北陡南缓的形态特征,钻孔资料显示,该场地断错面南倾,与不对称峰的缓变一侧的方向一致(图 4);四个剖面土壤气氦、汞测量值的峰值点基本处在同一条直线上,峰值的连线与钻孔资料显示的断错面的走向一致。

钻孔柱状图对比的结果显示,该断错面为一高

倾角界面,符合正断层的特性。土壤气氦、汞异常峰值的宽度较小,高值点之间的距离只有 10~30 m。

2.2 青白石场地

2.2.1 场地条件和测线的布设

该场地位于青白石乡一个小的山体冲沟,由于场地条件限制,共布设 1 条测线,测线长 400 m。测线垂直跨过一老断层。断层露头显示该断层为一逆冲断层。倾角小于 30°。

2.2.2 断层土壤气氦、汞测量结果

图 5 为该剖面上土壤气氦、汞浓度变化曲线。由图可见该场地土壤气汞和氦的变化曲线上均有成组高值出现,其中汞的峰值最高点浓度为 1.314 5 ng/L,约为背景值 0.287 5 ng/L 的 4.57 倍;氦浓度最大值为 53.668 1 Bq/L,是背景值 9.531 59 Bq/L 的 5.6 倍。

表 3 测线土壤气汞、氦的数据分析

测线	K	δ_1	$K + \delta_1$	R	δ_2	$R + \delta_2$
青白石	0.287 5	0.253 2	0.540 7	9.531 6	10.256 9	19.788 5

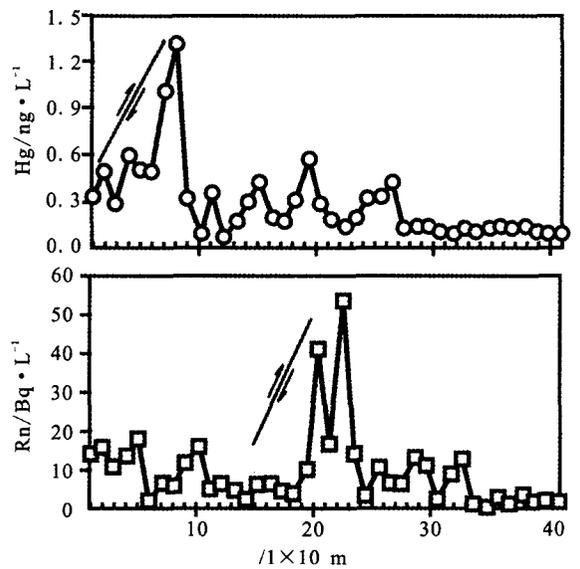


图 5 青白石实验场地土壤气汞、氦异常变化曲线

Fig. 5 The abnormal variation curves of radon and mercury in soil gas at Qingbaishi site.

2.2.3 土壤气氦、汞浓度异常特征及其与断层特性的关系

土壤气氦、汞的异常形态仍然为低→较高→高→较高→低的峰值形态,但出现了多个峰值;异常带宽度较大,其中汞的异常带宽度达到 270 m。由此可见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,断层土壤气形成了较大宽度的气体异常带。

征,断层露头揭示该场地断层面北倾,与不对称峰的缓变一侧的方向一致。

2.3 桃树坪场地

2.3.1 场地基本条件和测线的布设

为了研究覆盖层厚度对测量结果的影响,我们选择桃树坪作为一个试验场地进行试验研究。前人地质调查研究资料显示,刘家堡断层通过试验场。这里黄河四级阶地发育,每级阶地覆盖层厚度差异明显,是进行此项试验的理想场地。分别在Ⅱ级、Ⅲ级阶地和Ⅳ级阶地上各布设一条测线,分别为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ号剖面,三条测线方向基本平行,均为N85°E方向。

2.3.2 土壤气汞、汞测量结果与异常分析

三个剖面上汞、氡浓度变化曲线如图6所示。结果显示:Ⅰ剖面土壤气汞、氡的变化曲线均未出现明显异常;Ⅱ剖面上气汞值出现两组峰值,第一组最大值0.18 ng/L,是背景值0.032 1 ng/L的5.6倍,氡出现了一组峰值(与汞的位置有所偏离),其最大值7.5 Bq/L,是背景值2.89 Bq/L的2.6倍;Ⅲ剖面上气汞出现了一组峰值,最大值0.12 ng/L,是背景值0.03 ng/L的4倍,其位置与Ⅱ剖面上第一组异常对应。

表4 测线土壤气汞、氡的数据分析

测线	K	δ_1	$K + \delta_1$	R	δ_2	$R + \delta_2$
Ⅰ	0.052 1	0.016 3	0.067 4	5.154 2	3.420 7	8.574 9
Ⅱ	0.065 2	0.053 4	0.118 6	3.436 8	1.438 1	4.784 9
Ⅲ	0.026 4	0.008 1	0.042 6	1.990 1	0.799 5	3.589 1

2.3.3 覆盖层厚度对测量结果的影响

场地试验的观测结果表明覆盖层对观测结果的影响较大。尤其是对氡的影响更为明显:Ⅰ剖面在第四级阶地上,比第三级阶地Ⅱ剖面的覆盖层厚大6 m,Ⅱ剖面覆盖层又比Ⅲ剖面大8 m。Ⅰ、Ⅱ剖面的观测结果表明,覆盖层越厚,测量值越小。Ⅲ剖面位于黄河第二级阶地,野外观测结果显示覆盖层为粗砂或砂砾层,与大气贯通,深部气体赋存较少,导致测量值减小。

3 结论与讨论

断裂带土壤气汞、汞具有明显的异常显示,其典型异常形态为低→较高→高→较高→低的峰值形态或类似的形态,且峰值异常中比背景值高出2倍以上的点2个以上。单点异常大多数为观测中的干扰因素造成,不代表断层带。其中土壤气汞测值曲线背景值稳定,峰值异常明显,比气氡具有更好的指示

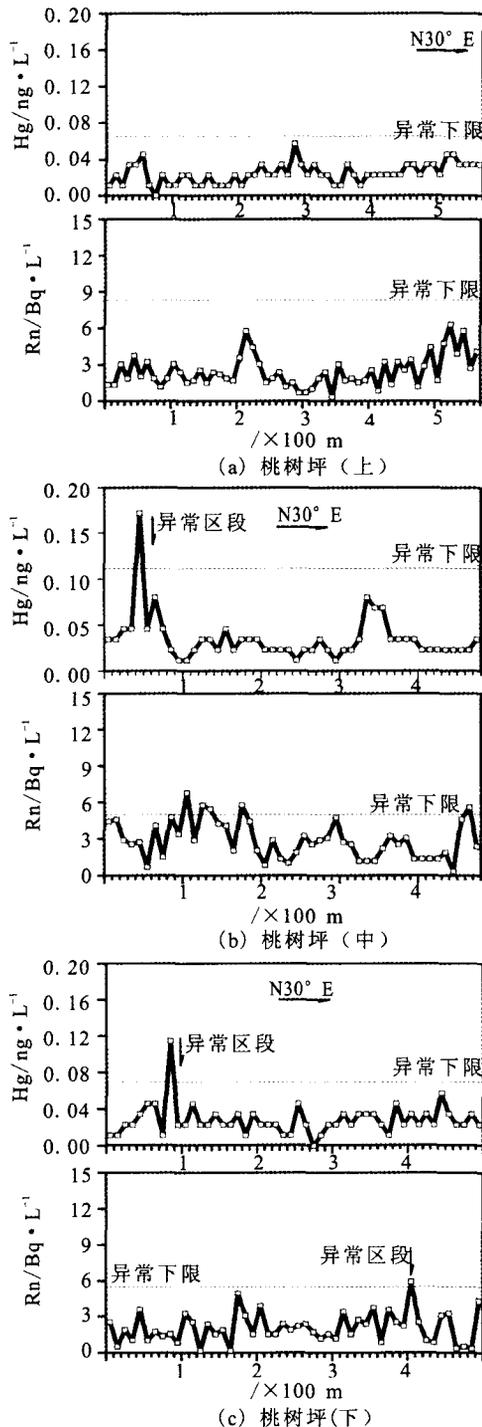


图6 桃树坪试验场汞、氡浓度变化曲线

Fig. 6 The abnormal variation of soil gas radon and mercury at Taoshupin site.

汞的峰值异常带与断层出露的位置相对应,显示土壤气汞具有更好的指示意义。这与汞的穿透能力有关。汞的峰值异常具有南陡北缓的形态特

性。

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。

直立正断层上方气氦、气汞异常值相对较低,异常带宽度也小,一般为10~30 m;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。

覆盖层的厚度会影响断层带土壤中氦、汞的浓度。正常情况下,覆盖层厚度不大时峰值突出,异常明显;当厚度增大时异常形态低缓、宽度加大。但覆盖层厚度太小时,断层带富集的气体与大气圈沟通好,反而使异常幅度变得不甚明显。因此,利用汞、氦地球化学勘探方法研究隐伏断裂时,测线的布置是比较关键的,同一测线覆盖层厚度差异最好不要太大,否则往往会把一些由于覆盖层厚度变化引起的较大的扩散浓度差异认为是断层气异常,从而得出错误的判断。

[参考文献]

- [1] 袁道阳,雷中生,葛伟鹏,等. 兰州1125年7级地震考证与发震构造分析[J]. 中国地震,2002,18(1):67-75.
- [2] 袁道阳,雷中生,刘小凤,等. 138年金城-陇西6 $\frac{3}{4}$ 级地震的史料考证与发震构造背景探讨[J]. 地震地质,2004,26(1):52-60.
- [3] Mohamed M Moussa, Abdel-Gabar M, El Arabi. Soil radon survey for tracing active fault: a case study along Qena - Safaga road, Eastern Desert, Egypt [J]. Radiation Measurements, 2003, 37: 211-216.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] C Papastefanou. An overview of instrumentantion for measuring radon in soil gas and groundwaters [J]. Journal of Environmental Radioactivity, 2002, 63:271-283.
- [7] Oktay Baykara. Measurements of radon emanation from soil samples in triple-junction of North and East Anatolian active faults systems in Turkey [J]. Radiation Measurements, 2005, 39:209-212.
- [8] 吴慧山. 氦测量方法与应用 [M]. 北京: 原子能出版社, 1995.
- [9] 汪成民, 李宣瑚, 魏柏林, 等. 断层气在地球科学中的应用 [M]. 北京: 地震地震出版社, 1991.
- [10] 孟广魁, 何开明, 班铁, 等. 氦、汞测量用于断裂活动性和分段的研究 [J]. 中国地震, 1997, 13(1):43-51.
- [11] 卫敬生. 利用土壤吸附汞寻找断裂破碎带的应用实例 [J]. 物探与化, 2001, 25(1):78-81.
- [12] 姜大庸, 陈文彬, 石雅留. 海原活动断裂的地壳脱气作用 [J]. 西北地震学报, 2000, 22(4):448-464.
- [13] 何文贵, 袁道阳, 葛伟鹏, 等. 对兰州市刘家堡断层的新认识 [J]. 西北地震学报, 2009, 31(1):40-45.
- [14] 卢玉霞, 王振明, 王兰民, 等. 兰州盆地活断层的高分辨率浅层地震勘探技术 [J]. 西北地震学报, 2008, 30(4):344-353.