

戴 波, 张 杨, 王 凯. 江苏郯庐断裂带断层气测量与地球化学特征[J]. 华南地震, 2016, 36 (3): 104–109. [DAI Bo, ZHANG Yang, WANG Kai. Fault Gas Measurements and Geochemical Characteristics in Jiangsu Section of the Tan–Lu Fault Zone[J]. South china journal of seismology, 2016, 36(3): 104–109.]

江苏郯庐断裂带断层气测量与地球化学特征

戴 波, 张 杨, 王 凯
(江苏省地震局, 南京 210014)

摘要: 对郯庐断裂带江苏段断层气体 CO_2 、 Rn 以及 Hg 浓度进行测量, 选择在重岗、晓店、桥北和何庄四个跨断层测点。确定了各剖面上断层气体的地球化学特征的背景值和异常下限值, 然后计算出郯庐断裂带江苏段的断层气异常衬度值数据结果。断层气体的浓度值异常主要集中分布在断裂带内及附近, 活动断裂带地震活动性和断层气体的浓度值异常有很好的 consistency。

关键词: 背景值; 断层; 衬度

中图分类号: P315.2 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662 (2016) 03-0104-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2016.03.015

Fault Gas Measurements and Geochemical Characteristics in Jiangsu Section of the Tan–Lu Fault Zone

DAI Bo, ZHANG Yang, WANG Kai

(*Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, China*)

Abstract: The paper measured the concentration of fault gas (CO_2 , Rn and Hg) of Jiangsu section in Tanlu fault zone, by selecting the measuring points located in Chonggang, Xiaodian, Qiaobei and Hezhuang four faults. The paper determined the background value and the lower limit abnormal value of geochemical characteristics of each cross section of the fault, and calculated the fault gas abnormal contrast results of Jiangsu section in the fault zone. Fault gas (CO_2 , Rn and Hg) concentrations anomalies mainly distributed in the fracture zone and its adjacent area, the seismic activity active fault and the concentration anomalies of soil gas anomalies have good consistency.

Keywords: Background values; Faults; Contrast

收稿日期: 2015-07-12

基金项目: 测量台网青年骨干培养专项 (20160511)

作者简介: 戴 波 (1987-), 工程师, 主要从事地震前兆数据观测。

E-mail: 249225204@qq.com.

0 引言

大规模的地表破裂带往往伴随着大地震所导致的大规模的地表岩石活动而生成。郯庐断裂带在中元古代因地壳运动形成。而郯庐断层带的江苏段主要形成于三叠纪末期,在最初曾是一条走滑断层,位于中朝板块和扬子板块之间的秦岭-大别碰撞带的东侧^[1]。在中生代燕山造山运动时期,由于太平洋板块向西俯冲到欧亚板块的下方,板块压力使郯庐断层带沿南北向大幅度延伸,然后逐步转变成成为逆冲断层。在第四纪时期,郯庐断裂带进一步发展为右行走滑-逆冲断层。沿着这一断裂带在历史上发生了很多的大地震,例如1668年7月28日,山东郯城8.5级大地震、1975年2月24日,辽宁海城7.3级大地震等。汶川地震之后,地震带的研究又成为新的热点。通过解读地震活动断层土壤气体的地球化学特征,能够反映出其活动情况^[2]。在美国的圣安德烈斯断裂、日本的迹津川和牛首断层、意大利的Pernicana断裂与中国的福州隐伏断裂上,都观测到了断层气体中CO₂、Rn、Hg、CH₄、H₂和He等气体成分的显著性异常变化^[3]。随着地壳运动对地表环境的破坏,使得地下储存着的大量气体物质,如二氧化碳、氦气、汞气、甲烷、氢气、微量一氧化碳、氩气、硫化氢和苯系列等气体,能够通过断裂或滑坡边界所产生的裂缝向地表方向迁移释放出来^[4]。

一般而言,在断裂及其附近土壤,气体浓度测值较高,随着远离断裂,其浓度测值逐渐降低,趋于背景值或在背景值上下浮动。郯庐断裂带为地下气体逃逸提供了良好的通道,目前,由于对郯庐断裂带江苏段的跨断层土壤气体的测量研究还相对比较稀少。因此,本次研究区域选择了郯庐断裂带江苏段。通过横跨断裂走向观测断层气体中Rn、Hg与CO₂的含量大小,来综合判定郯庐断裂带江苏段的地球化学特征及其活动性。

1 郯庐断裂江苏段地震地质概况

郯庐断裂带是在第四纪时期新构造运动强烈复活之后,在中国华北、东北的东部地区形成了

一条显著的右旋走滑断裂带。是一条以岩石圈为尺度所划分的构造边界带(表1、图1)。郯庐断裂带在江苏重岗-桥北段为白垩纪红色砂岩逆冲覆于晚更新世粘土地层之上^[5-6]。

安丘-莒县断裂(F5),发育于昌邑-大店断裂(F1)和白粉子-浮来山断裂(F2)之间,是郯庐断裂带在江苏境内的主要分支。北起莒县小土岭,南至泗洪峰山,全长约260 km,走向N10°~20°E。该断裂控制一系列串珠状北北东走向的小山包,江苏境内自北而南有马陵山、南马陵山、嶂山、赤山、重岗山、峰山等。地表破裂带沿这些小山包的一侧发育,断裂发育不完整,而是由一系列自然的断层呈斜列展布构成。本次研究所在的区段描述如下:

(1) 麦坡-何庄段。在麦坡-何庄一带,断层线呈向西突出的弧形,断裂地貌明显,断层崖发育,冲沟显示出右旋变位现象。

(2) 王庄集-桥北镇段。该段位于王庄集与桥北镇间,全长13 km,控制南马陵山的东边界。断裂走向N5°E,断层面倾向SE或NW,为高角度断裂。跨断裂冲沟具有明显的右旋变位,反映出断裂的走滑运动性质。

(3) 晓店段。该段断裂长6 km,走向N10°E,倾向NW,是西侧山体与东侧平原的分界断裂,断层线平直。

(4) 重岗山段。该段位于重岗山的西侧,断层线略具弧形,向西突出。断裂走向N0°~5°E,倾向SE,全长12 km,地貌上表现清晰,构成了低山与平原的分界线,断层崖明显。

2 测量方法

首先,选择郯庐断裂江苏段重岗、晓店、桥北和何庄四个断裂层进行土壤气测量,通过在土壤中打孔实时地抽取土壤气体,然后测量其中CO₂、Rn和Hg的浓度值。测量线是跨越断层的,测点之间平均间隔为10~30 m,测点主要位于断裂带上。其中在重岗剖面布置了2条平行测线,剖

表1 郯庐断裂带江苏段各测量段的断裂参数

Table 1 Fracture parameters of the fault zone in Jiangsu section of each measurement period							
序号	次级断层段	走向	倾向	倾角	性质	形态特征	长度/km
1	麦坡-何庄段	5°~10°	SE	27°~80°	逆走滑	弧形向西突	25
2	王集庄-桥北镇段	5°	NW 或 SE	60°~80°	逆走滑、正走滑	平直	13
3	晓店段	5°~10°	NW	60°~80°	逆走滑	平直	6
4	重岗山段	0°~5°	SE	60°~80°	逆走滑	弧形向西突	6



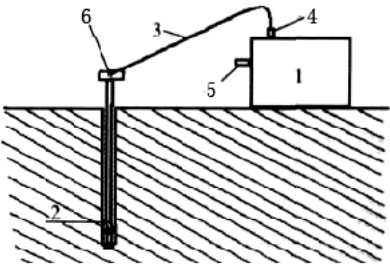
图 1 郯庐断裂带江苏段示意图

Fig.1 Schematic diagram of Jiangsu section in the Tanlu fault zone

面方向尽量与断裂走向垂直，测点间距为 10 m，测线间距为 8 m。测量步骤如下：

- (1) 仪器放置采样点处，选择潮湿度不大的测点进行测量，打开仪器电源开关，预热仪器。
- (2) 选用打孔钢钎，用锤子在土壤中打大约 70 cm 深的孔，拔出钢钎，迅速插入土壤气体取样器，顶端地表土壤部分用土壤密封压实，以防止抽气时空气进入孔中。
- (3) 用软橡胶皮管将仪器与取样器连接，中间接好干燥塔，进行浓度测量。

其中仪器抽取气体的流速大概为 1.2 L/min，测量时间为 5 min。气汞用 RA-915+型塞曼效应汞分析仪现场抽气测量，检测限 1 ng/m³；CO₂ 使用便携式红外线 CO₂ 分析仪现场抽气测量，CO₂ 的检测限是 10 ppm；气氡是用 RAD7 测氡仪现场抽气测量。跨断层土壤气体 CO₂、Rn 和 Hg 的浓度测值的误差都在 10%以内^[6]。在测量过程中，测氡仪采取三次读数，每次持续 5 min，最后采用其最大值数据结果录入。CO₂ 仪与气汞仪也是在 15 min 内读取最大值结果进行录入。图 2 为测量示意图在在野外测量过程中，为了避免偶然因素对测量结果的影响，对浓度较高的异常点进行了重复测量，其中 Rn 的重复检测点占总测点数的 11.5%，Hg 和 CO₂ 的重复检测点占总测点数的 7%，此外，由于



1. 测量仪器；2. 采样气体入口；3. 仪器导气管；
4. 仪器进气口；5. 仪器排气孔；6. 干燥剂

图 2 测量示意图

Fig.2 Measurement schematic

土壤气容易受其他因素影响，因而测量多种土壤气体组分比单一组分更可靠。在断裂发育部位，容易引起多种土壤气体组分聚集，呈现一致的浓度异常；反之，当构造不发育时，各土壤气体组分呈现一致异常的几率较小，这样可以有效识别与断裂无关的异常。本次测量工作客观地反应了各断层土壤气体组分在郯庐断裂带的分布特征。

3 测量结果分析

在郯庐断裂带江苏段，测点总共为 43 个。通过柯尔莫可洛夫-斯米洛夫检验来分析测量数据是

否符合正态分布,采用显著性水平默认值 $\alpha=0.05$ 。通过 Matlab 编程对测量数据进行分析,最终均符合正态分布。因此,背景值等于平均值,异常下限的结果等于背景值加上 2 倍标准差。异常强度可用衬度来表示,即用断层气 CO_2 、Rn 和 Hg 浓度测值与其背景值的比值来表示。

断层土壤浓度异常特征如下:在重岗测点 CO_2 、Rn 和 Hg 异常点数分别占该剖面的 10%、10%、10%。其中 CO_2 异常点在第四测点,距离断裂 73.25 m 处,衬度为 3.75; Rn 异常点位于第七测点距断裂 21.48 m 处; Hg 异常点在第六测点,距离断裂 44.36 m 处。异常部分主要集中在距断裂 21.48 m~73.25 m 之间。

在晓店测点 CO_2 、Rn 和 Hg 异常点数分别占该剖面的 9.1%、9.1%、9.1%。其中 CO_2 异常点在第三测点,距离断裂 21.39m 处; Rn 异常点位于第八测点距断裂 81.48 m 处; Hg 异常点在第一测点,距离断裂 298.95 m 处。异常数据的分布不是很均匀。

在桥北测点 CO_2 、Rn 和 Hg 异常点数分别占该剖面的 9.1%、9.1%、18.2%。其中 CO_2 异常点在第一测点,距离断裂 174.73 m 处; Rn 异常点位于第九测点距断裂 33.07 m 处; Hg 异常点在第二、

五测点,距离断裂 155.99 m、108.11 mm 处。异常数据的分布不是很均匀。在大量的降雨之后,土壤中的孔隙几何形状、大小都没有恢复到被堵塞或切断前的状态,这样就会大幅度的影响土壤气中 Rn、Hg 元素向地表进行扩散与迁移,因此,氡、汞浓度的测量结果会高出背景值较多。

在何庄测点 CO_2 、Rn 和 Hg 异常点数分别占该剖面的 9.1%、18.2%、9.1%。其中 CO_2 异常点在第五测点,距离断裂 33.08 m 处; Rn 异常点位于第二、十测点距断裂 12.82 m、134.74 m 处; Hg 异常点在第八测点,距离断裂 74.4 m 处。异常数据的分布不是很均匀。表 2 为郯庐断裂带江苏段断层气体测量结果统计图。图 3 为郯庐断裂带江苏段断层气体测点图,其中圆点为断裂处,图 4 为何庄,桥北,晓店,重岗四个测点断层土壤气体含量折线图。

4 测量数据解释

断层土壤气 CO_2 、Rn 和 Hg 等浓度异常是寻找地震活动断裂带非常有效的方法,土壤气体 CO_2 、Rn 和 Hg 等在活动断裂带附近对地震发生具有非

表 2 郯庐断裂带江苏段断层土壤气体测量结果统计
Table 2 The fault gas measurements of Jiangsu section in Tanlu fault zone

剖面	组分	点数	最小值	最大值	均值	中值	标准差	背景值	异常下限
何庄	CO_2	11	0.92	8.58	3.16	2.86	2.06	3.16	7.485
	Rn	11	0.616	24.516	11.92	10.553	8.26	11.92	29.249
	Hg	11	8	67	16.91	10	16.58	16.91	51.694
桥北	CO_2	11	0.16	2.11	0.77	0.53	0.63	0.77	2.093
	Rn	11	0.403	20.781	3.62	0.679	6	3.62	16.219
	Hg	11	8	27	14.64	13	6.37	14.64	28.001
晓店	CO_2	11	0.27	2.12	0.858	0.83	0.54	0.858	1.99
	Rn	11	0.274	27.64	5.74	1.992	8.34	5.74	23.234
	Hg	11	5	27	13.09	13	6.11	13.09	25.911
重岗	CO_2	10	0.03	8.43	2.246	1.37	2.57	2.246	7.669
	Rn	10	0.411	62.886	19.949	15.363	20.77	19.949	63.748
	Hg	10	5	73	22	12	21.32	22	66.949

常敏感的的响应性。土壤是由岩石风化而生成的,与岩石相比,其结构较为疏松,而且表面积较大,土壤孔隙度较多,因此土壤中所含气体易于扩散逃逸到大气环境中。之前土壤气体的地震前兆异常资料表明,地震的震级越大,土壤气体地震前兆异常的幅度越明显,与到震中的距离成反比分布,离震中越近的土壤气体测点,前兆异常数目越多。

活动断裂带是深部气体主要的释放通道,通

过海原断裂带东南段和汶川 M_s 8.0 地震破裂带的土壤气体地球化学特征研究发现,断裂带土壤气浓度 CO_2 、Rn 和 Hg 浓度与断裂的破裂(垂直位移和水平位移)大小和地震活动性息息相关,断裂带土壤气浓度 CO_2 、Rn 和 Hg 浓度在一定程度上能反映断裂裂隙发育程度^[2,7]。虽然,在活动断裂带土壤气体地球化学测量当中会受到地下水位、气象条件、沉积物的差异和仪器测量误差的影响,但是,在活动断裂附近,活动断裂深部脱气强弱是

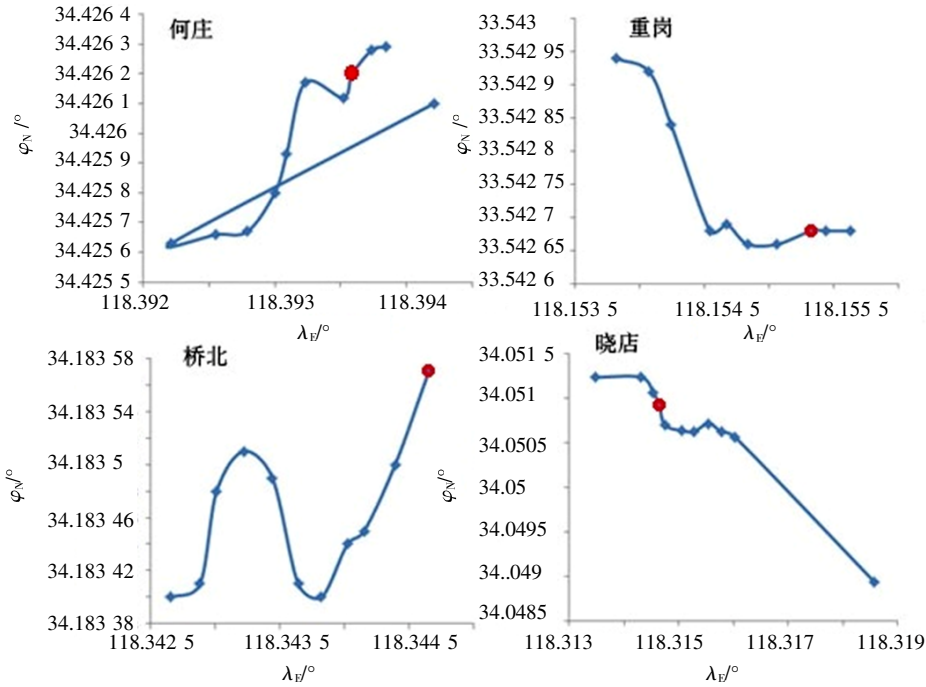


图 3 郯庐断裂带江苏段断层土壤气体测点图 圆点为断裂
Fig.3 The measuring points of fault gas of Jiangsu section in Tanlu fault zone

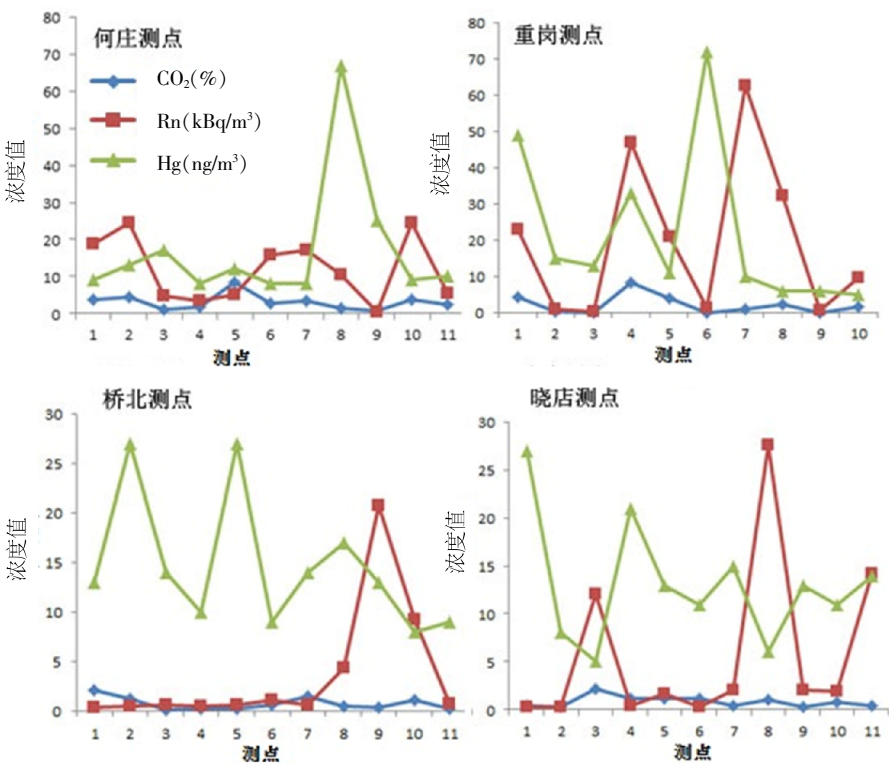


图 4 何庄，重岗，桥北，晓店四个测点断层土壤气体含量折线图
Fig.4 The soil gas content curves of measuring points of Hezhuang, Chonggang, Qiaobei, Xiaodian

控制断层气强度主要因素。
地震活动断裂带土壤气体 CO_2 异常浓度和通量，可以很好地反映地震活动、断裂带的活动情况。在地球内部生成的众多流体组分中是最有可能大量迁移至地表，并在地表某点集中释放的气

体之一。
断层土壤气中 Rn 的浓度分布异常和下层的断裂带内部岩石破裂有非常大的关联。 Rn 气体主要来源于断裂层中富含放射性铀、钍系列元素的岩石。因此，断裂带的破裂强度越大破裂产生的裂

隙越多,生成的Rn气体就越多。土壤Rn气体浓度高值测点主要在断裂点附近,与断层走向基本一致。理论上,由于Rn的迁移与扩散作用,因此,土壤覆盖层的Rn浓度的分布就会以断层面破碎点为中心,向周围不断地递减,最终断层面的Rn浓度较高,而四周较低。而Rn元素的成因主要是断层岩层破碎以及地震活动导致。而土壤母岩的类型与部分垃圾污染对Rn浓度的影响性较为有限。

Hg元素具有电离势较高、穿透能力非常强以及挥发性较高的特点,汞蒸汽可以通过破碎带或裂隙挥发到地表上部。而当岩石在构造应力作用下发生破裂的过程中,岩石在受到挤压之后,压力与温度会迅速增大,使岩石中的汞化合物会迅速地完成一系列化学反应。生成的汞蒸汽在热力与压力同时作用下,沿着构造裂隙向地表上方扩散。因此Hg元素的对断裂活动及温度变化反应非常灵敏。

5 结语

活断层探测工作的主要任务是研究断层的活动性强弱。根据不同地区断层研究分析表明,同一条断层活动性强的部分断层气浓度测值较高,活动性弱的部分则浓度测值较低。郯庐断裂带断裂各剖面断层气中CO₂、Rn和Hg的浓度异常分析得到以下结论:

(1) 断层气中CO₂、Rn和Hg的浓度异常主要集中分布在断裂带内及附近由各剖面断层土壤气中CO₂、Rn和Hg的浓度异常空间分布可以得出,CO₂、Rn和Hg的浓度异常分布在断裂左右两侧50 m范围之内,这主要与活动断裂内裂隙的发育有直接的关系。断层带上断层气CO₂浓度异常衬度是2.74~3.75, Rn浓度异常衬度是2.05~5.73, 断层气Hg浓度异常衬度是1.84~3.96。因此把异常衬度最大的测点定为隐伏断层所在的位置。跨断裂土壤气CO₂、Rn和Hg的浓度测量发现,在断裂上及附近CO₂、Rn和Hg的浓度异常明显,离开断裂,异常幅度逐渐减少。

(2) 活动断裂带地震活动性和断层气中CO₂、Rn和Hg的浓度异常有很好的 consistency 对跨断层土壤气体CO₂、Rn和Hg浓度的测量分析,可以确定了各剖面上断层气体的地球化学特征的背景值和异常下限值。郯庐断裂上的多种土壤气体组分异常表明,利用多种土壤气体组分可以有效地勘探隐伏断裂。

在第四系风化土壤覆盖层较厚的条件下,运

用断层气体CO₂、Rn和Hg浓度测量方法对郯庐断裂带江苏段土壤气体化学特征的测量结果分析表明,该方法在隐伏活断层探测方面具有测量速度快、花费经济、结果有效的优点,是在活动断层初勘阶段中可利用的有效方法。由于断层气测量结果受断层的活动性、开启程度、土壤条件等诸多因素的影响,其测量结果在这方面的应用还需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 黄耘,李清河,张元生,等. 郯庐断裂带鲁苏皖段及邻区地壳速度结构[J]. 地球物理学报, 2011, 54 (10): 2 549-2 559.
- [2] 周晓成,王传远,柴炽章,等. 海原断裂带东南段土壤气体地球化学特征[J]. 地震地质, 2011, 33 (01): 123-132.
- [3] King CY, King BS, Evans WC, et al. Spatial radon anomalies on active faults in California [J]. Applied Geochemistry, 1996, 11 (1): 497-510.
- [4] 周晓成,杜建国,陈志,等. 地震地球化学研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2012, 31 (04): 340-346.
- [5] 施炜,张岳桥,董树文. 郯庐断裂带中段第四纪活动及其分段特征[J]. 地球学报, 2003, 24 (01): 11-18.
- [6] 陈长云,贺建明. 西秦岭北缘断裂分段运动变形特征分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2016, 36 (9): 787-788.
- [6] Zhou X, Du J, Chen Z, et al. Geochemistry of soil gas in the seismic fault zone produced by the Wenchuan Ms 8.0 earthquake, southwestern China [J]. Geochemical Transactions, 2010, 11 (1): 68-82.