

张杨,戴波,单菡,等.郯庐断裂带江苏段断层气氡地球化学特征研究[J].地震工程学报,2017,39(2):0248-0252.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.02.0248

ZHANG Yang, DAI Bo, SHAN Han, et al. Study on the Geochemical Characteristics of Radon in the Jiangsu Section of the Tanlu Fault Zone[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(2): 0248-0252. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.02.0248

郯庐断裂带江苏段断层气氡地球化学特征研究^①

张 扬¹, 戴 波¹, 单 菡¹, 郑江蓉¹, 周晓成²

(1.江苏省地震局,江苏 南京 210014; 2.中国地震局地震预测研究所,北京 100036)

摘要:为讨论郯庐断裂带江苏段断层气体氡的地球化学特征,在重岗、晓店、桥北和何庄4个地点跨断层测量了断层气氡浓度。测量结果表明:郯庐断裂带江苏段上断层气氡浓度异常衬度为2.05~5.73,且其浓度异常主要集中分布在断裂带内及附近,这与活动断裂带地震活动性有很好的—致性。

关键词: 断层气体; 地球化学特征; 浓度异常衬度; 郯庐断裂带

中图分类号: P315.72

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2017)02-0248-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.02.0248

Study on the Geochemical Characteristics of Radon in the Jiangsu Section of the Tanlu Fault Zone

ZHANG Yang¹, DAI Bo¹, SHAN Han¹, ZHENG Jiang-rong¹, ZHOU Xiao-cheng²

(1. Earthquake Administration of Jiangsu Province, Nanjing 210014, Jiangsu, China;

2. Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration, Beijing 100036, China)

Abstract: This article discusses the geochemical features of the fault gas radon (Rn) in the Jiangsu section of the Tanlu fault zone. The Rn concentration across the fault was measured at four locations: Chonggang, Xiaodian, Qiaobei, and Hezhuang. Measurement results showed that the Rn concentration anomaly contrast in the Jiangsu section of the Tanlu fault zone was 2.05~5.73. The Rn concentration was mainly distributed in and near the fault zone and showed a good correlation with seismic activity.

Key words: fault gas; geochemical features; concentration anomaly contrast; the Tanlu fault zone

0 引言

大规模的地表破裂带生成往往伴随着大地震所导致的大规模的地表岩石活动。郯庐断裂带在中元古代因地壳运动形成,而其江苏段主要形成于三叠纪末期,且最初为一条走滑断层,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。沿着这一断裂带曾发生过很多大地震,例如1668年7月28日山东郯城8.5级大地震、1975年2

① 收稿日期:2016-01-05

基金项目:测震台网青年骨干专项(20170610);地震科技星火计划(XH171001)

作者简介:张 扬(1987—),助理工程师,主要从事地震前兆与测震仪器设备运维工作。E-mail:372945995@qq.com。

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、日本的驹津川和牛首断层、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 CO_2 、 Rn 、 Hg 、 CH_4 、 H_2 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,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]。

地震活动断裂带断层气氡是地球内部生成的众多流体组分中最有可能大量迁移至地表的,并在地表某点集中释放,它的异常浓度和通量可以很好地反映地震活动和断裂带活动的情况。氡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。氡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,生成的氡气体就越多。断层氡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^[5]。理论上,由于氡的迁移与扩散作用,土壤覆盖层氡浓度的分布会以断层面破碎点为中心,向周围不断地递减,这导致断层面上的氡浓度较高,而四

周较低。氡元素的成因主要是断层岩层破碎以及地震活动,而土壤母岩的类型与部分垃圾污染对氡浓度的影响性较为有限。

郯庐断裂带为地下气体逃逸提供了良好的通道,目前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。因此本次选择郯庐断裂带江苏段为研究区域,通过横跨断裂走向观测断层气体中氡浓度含量大小,来综合判定其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的一条显著右旋走滑断裂带,是一条以岩石圈为尺度所划分的构造边界带^[6]。郯庐断裂带在江苏重岗—桥北段为白垩系红色砂岩逆冲覆于晚更新统黏土地层之上^[7]。其自1970年以来的地震活动分布如图1所示。

安丘—莒县断裂(F_5)发育于昌邑—一大店断裂(F_1)和白粉子—浮来山断裂(F_2)之间,是郯庐断裂带在江苏境内的主要分支。它北起莒县小土岭,南至泗洪峰山,全长约260 km,走向 $\text{N}10^\circ\sim 20^\circ\text{E}$ 。该断裂控制一系列串珠状北北东走向的小山包,江苏

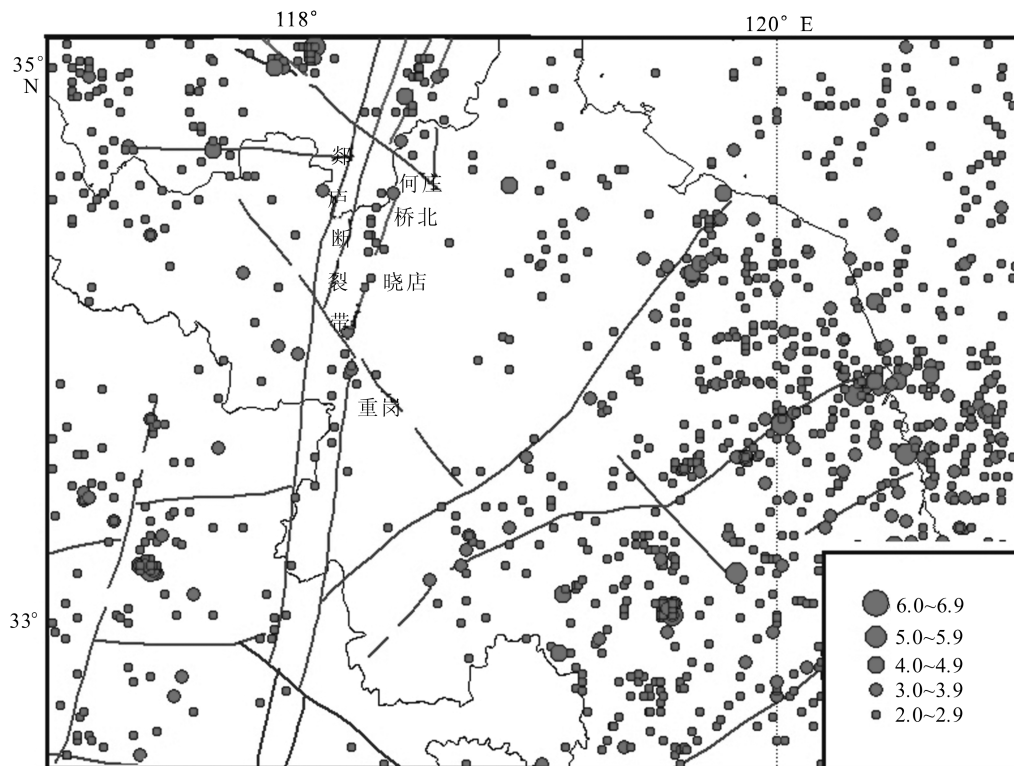


图1 郯庐断裂带江苏段地震活动分布图(1970—2015年)

Fig.1 Distribution of earthquake of the Jiangsu segment of Tanlu Fault Zone from 1970 to 2015

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,断裂由一系列自然的断层呈斜列展布构成,且发育不完整^[8]。本次研究所在的区段(表 1)描述如下:

表 1 郯庐断裂带江苏段各测量段的断裂参数

Table 1 Parameters of each measurement segment of the Jiangsu segment of Tanlu Fault Zone

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

(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,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 断层气测量方法

选择郯庐断裂江苏段重岗、晓店、桥北和何庄 4 个地点,通过在土壤中打孔实时地抽取土壤气体,进行跨越断层氡浓度值测量。测点之间平均间隔为 10~30 m。其中在重岗剖面布置了 2 条平行测线,剖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。其测量步骤如下:

(1) 仪器放置在采样点处,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。

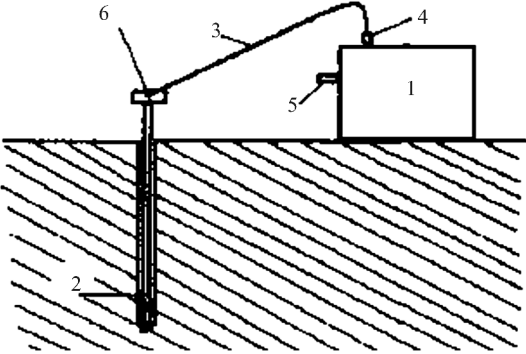
(2) 选用打孔钢钎,用锤子 在土壤中打约 70 cm 深的孔,拔出钢钎,迅速插入土壤气体取样器,顶端地表土壤部分用土壤密封压实,以防止抽气时空气进入孔中。

(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(图 2)。

采用 FD216 测氡仪现场抽气测量。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。跨断层土壤气氡的浓度测值的误差在 10% 以内。由于测量过程土壤气体的浓度中是一个不够稳

(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。



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 土壤气测量示意图

Fig.2 Schematic of soil gas measurement

定的数据,为测量其土壤含量结果,应取最大值进行读数,且采样 3 次,每次持续 5 min,最后取其最大值数据录入。

在重岗剖面布置了 2 条平行测线,剖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。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,重复检测点占总测点数的 11.5%。每条剖面都具备 1~2 条平行测线,通过比较同一剖面上不同平行测线的测量浓度,保证数据的可信度。此外,由于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机率较小,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映了各土壤气体氡浓度在郯庐断裂带的分布特征。

3 断层气测量结果分析

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,即用断层气氡浓度测值与其背景值的比值来表示。

断层气体浓度异常特征如下:在重岗测点氡的异常点数分别占该剖面的 10%。其中异常测点位于第七测点,距断裂 21.48 m 处。在晓店测点,氡异常点数分别占该剖面的 9.1%。其中氡异常点位于第八测点,距断裂 81.48 m 处。在桥北测点,氡异常点数占该剖面的 9.1%。其中异常点位于第九测点,距断裂 33.07 m 处。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断层气中氡元素向地表进行扩散与迁移。因此氡浓度的测量结果会高出背景值较多。在何庄测点氡浓度异常点数占该剖面的 18.2%,其中异常点位于第二十测点,距断裂分别为 12.82 m 及 134.74 m 处。图 3 为四测点的浓度分布情况,表 2 为郯庐断裂带江苏段断层气体测量结果统计。

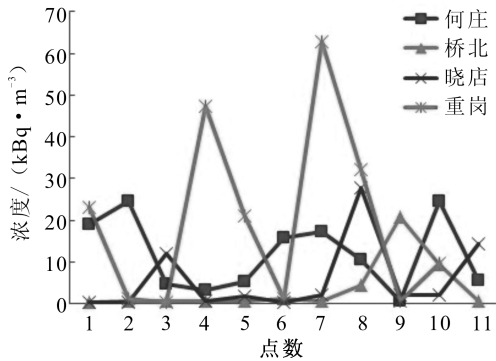


图 3 4 个测点氡浓度分布情况

Fig.3 Four measuring points distribution of Rn concentration

4 讨论

活动断裂带是深部气体主要的释放通道,通过对海原断裂带东南段和汶川 $M_s8.0$ 地震破裂带的土壤气体地球化学特征分析研究,发现断裂带土壤气氡浓度与断裂的破裂(垂直位移和水平位移)大小和地震活动性相关,并能在一定程度上反映断裂裂隙发育程度^[2]。虽然土壤气体地球化学测量会受到地下水位、气象条件、沉积物的差异和仪器测量误差的影响,但在活动断裂附近断裂深部脱气强弱是控

制断层气强度的主要因素。

表 2 郯庐断裂带江苏段断层土壤气体氡测量结果统计(单位: $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}$)

Table 2 Statistic of soil gas Rn measurement results in Jiangsu segment of Tanlu fault zone (Unit: $\text{kBq} \cdot \text{m}^{-3}$)

剖面	点数	最小值	最大值	均值	中值	标准差	背景值	异常下限
何庄	11	0.616	24.516	11.92	10.553	8.26	11.92	29.249
桥北	11	0.403	20.781	3.62	0.679	6	3.62	16.219
晓店	11	0.274	27.64	5.74	1.992	8.34	5.74	23.234
重岗	10	0.411	62.886	19.949	15.363	20.77	19.949	63.748

断层气体浓度异常是寻找地震活动断裂带非常有效的方法,断层气体在活动断裂带附近对地震发生具有非常敏感的响应性。土壤是由岩石风化而生成的,与岩石相比,其结构较为疏松,表面积较大,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。断层气体的地震前兆异常资料表明,地震的震级越大,断层气体地震前兆异常的幅度越明显,且与震中距成反比分布,距离震中越近的断层气体测点前兆异常数目越多。断层活动性的研究是活断层探测工作的任务之一。对不同地区断层的研究表明,同一条断层活动性强的部分断层气测值高,反之则测值低。断层带上土壤气氡浓度值在 $0.274 \sim 62.886 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$ 间。距断裂带距离越近,浓度值结果高的测点数目越集中,随着距离断裂越远,浓度异常测点的数量逐渐降低,而且浓度值也随之下降。尤其是晓店测点,断层气体浓度异常数量最多,断裂活动性最强,明显高于其他 3 个测点。这与晓店测点地震活动性强具有很好的一致性,而桥北测点断层气体浓度异常数量较少也与其地震活动性相对较弱呈现对应关系。

断层气氡浓度的地球化学特征总结如下:

- (1) 断裂所有剖面的背景值和最大值:断裂 4 个剖面断层气中氡浓度背景值为 $14.7 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$, 断层气氡浓度最高达到 $62.886 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$, 氡含量相当高。
- (2) 断裂各剖面的平均值和最大值的空间变化:氡浓度最大值和平均值的高值主要集中在何庄和重岗。
- (3) 断裂各剖面异常的空间变化:本文研究断裂断层气氡浓度各个剖面采用统一异常界,具体有以下几个原因:①断裂岩性的复杂性,断裂性质和分布的多样性;②对于断裂深部结构的了解很少;③数据信息提取当中减少人为干预,氡浓度异常界限为 $24.5 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-3}$, 且主要集中分布在重岗段。

5 结 论

通过对郯庐断裂 4 个剖面断层气中氡浓度异常进行分析,得出如下结论:

(1) 断层气氡浓度异常主要集中分布在断裂带内及附近。由各剖面断层气氡浓度异常空间分布可以得出,浓度异常分布在断裂左右两侧 50 m 范围内,这主要与活动断裂内裂隙的发育有直接的关系。断层带上土壤气氡异常衬度 2.05~5.73,因此把异常衬度最大的测点定为隐伏断层所在的位置。对跨断裂土壤气氡的浓度测量发现,断裂上及附近氡浓度异常明显,随着距离断裂越远,异常幅度逐渐减少。

(2) 活动断裂带地震活动性和断层气氡浓度异常有很好的 consistency。通过对郯庐断裂带江苏段跨断层土壤气氡浓度的测量分析,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。

参考文献(References)

[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):2549-2559.
HUANG Yun,LI Qing-he,ZHANG Yuan-sheng,et al.Crustal Velocley Structure Beneath the Shandong—Jiangsu—Anhui Segment of the Tancheng—Lijiang Fault Zone and Adjacent Area[J].Chinese Journal of Geophysics,2011,54(10):2549-2559.(in Chinese)

[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(1):123-132.
ZHOU Xiao-cheng,WANG Chuan-yuan,CHAI Chi-zhang,et al.Haiyuan Fault Zone Soil Gas Geochemical Characteristics of the Southeast Section[J].Seismology and Geology,2011,33(1):123-132.(in Chinese)

[3] King C Y,King B S,Evans W C,et al.Spatial Radon Anomalies on Active Faults in Califonia[J].Applied Geochemistry,1996,11(4):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(4):340-346.
ZHOU Xiao-cheng,DU Jian-guo,CHEN Zhi,et al.Advance Kevieu of Seismic Geochemistry[J].Bulletin of Mineralogy,Petrology and Geochemistry,2012,31(4):340-346.(in Chinese)

[5] 李营,杜建国,王富宽,等.延怀盆地土壤气体地球化学特征[J].地震学报,2009,31(1):82-91,117.
LI Ying,DU Jian-guo,WANG Fu-kuan,et al.Geochemical characteristics of Soil Gas in Yanqing—Huailai Basin,North China[J].Acta Seismologica Sinca,2009,31(1):82-91,117.(in Chinese)

[6] 张鹏,李丽梅,张景发,等.郯庐断裂带江苏段第四纪活动特征及其动力学背景探讨[J].防灾减灾工程学报,2011,31(4):389—396.
ZHANG Peng,LI Li-mei,ZHANG Jing-fa,et al.A Discuss of Characteristcles of Activities in Quatevnary for the Jiangsu Segment of Tan-lu Fault Zone and Its Geodynamic Setting[J].Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering,2011,31(4):389-396.(in Chinese)

[7] 郑颖平,翟洪涛,李光,等.郯庐断裂带江苏新沂——安徽宿松段地震危险性分析[J].华北地震科学,2012,30(2):48-51.
ZHENG Ying-ping,ZHAI Hong-tao,LI Guang,et al.Seismickisk Analysis on Xingyi—Susong Fault Segment of Tanlu Fault Zone[J].North China Earthquake Sciences,2012,30(2):48-51.(in Chinese)

[8] 徐溶,陈时军,王峰.沂沭断裂带及其附近地区构造应力场研究概要[J].地震工程学报,2014,36(1):158-169.
XU Rong,CHEN Shi-jun,WANG Feng.Study on Tectonic Seress Field in Yishu Fault Zone and Its Adjacent Areas[J].China Earthquake Engineering Journal,2014,36(1):158-169.(in Chinese)