

汶川地震震后大成都地区断裂带活动性氡气测量分析评价*

谷 懿 葛良全 王广西 姜海静 曾 兵 张 震

(成都理工大学地学核技术四川省重点实验室 成都 610059)

摘 要 本文运用活动断裂剖面上的土壤氡气浓度测量,对大成都地区断裂的位置、范围和活动性进行监测,监测结果表明汶川地震对大成都地区断裂带有较大的影响。通过对北川断裂虹口剖面、彭灌断裂小渔洞剖面、彭灌断裂中坝剖面、彭灌断裂白鹿剖面以及新津-蒲江断裂剖面进行监测,从测量结果分析可知:断裂剖面土壤氡浓度背景高于无断裂带地区,且受地震影响较大,距汶川地震震中越近,断裂剖面土壤氡浓度值越高;断裂剖面氡浓度异常阈值与背景值之比均不大于3,最大值与背景值之比均小于5。结合测量地点的地形、表层土壤结构等地质条件,对大成都地区震后活动断裂的相对活动性的强弱进行科学评价,认为目前大成都地区并无活动性极强的断裂,且北川断裂与新津-蒲江断裂的活动性高于彭灌断裂。

关键词 断裂活动性 氡测量 地球化学异常 评价

中图分类号:P642.27 文献标识码:A

ANALYSIS AND EVALUATION OF FAULTS ACTIVITIES IN CHENGDU REGION WITH RADON CONCENTRATION MEASUREMENTS AFTER WENCHUAN EARTHQUAKE

GU Yi GE Liangquan WANG Guangxi JIANG Haijing ZENG Bing ZHANG Zhen

(Key Laboratory of Applied Nuclear Techniques in Geosciences, Sichuan, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract This paper uses radon concentration measurements on the profile of active fault to assess the position, scope and activity of faults in Chengdu Region. It can be found that Wenchuan Earthquake affected faults strongly. The radon concentrations were monitored on profiles of Beichuan Fault, Pengguan Fault and Xinjin - Pujiang Fault. The results indicate that the background radon concentration on the profile of active faults is higher than other places. The closer to the epicenter, the higher the value of radon concentration on the profile of active faults. By data processing, the ratios of radon anomaly threshold value to background value of radon concentration are no more than three and the ratios of maximum radon concentration to background value of radon concentration are less than five. Considering the geological conditions of measurement location such as the topography and surface soil structure, the activities of active faults in Chengdu region are evaluated after the earthquake. There is no fault with high level of activity in Chengdu region. Moreover, the activity of Beichuan Fault and Xinjin - Pujiang Fault is higher than that of Pengguan Fault.

Key words Fault activity, Radon survey, Geochemical anomalies, Evaluation

* 收稿日期:2009-03-26;收到修改稿日期:2009-05-04.

基金项目:本研究得到国家自然科学基金项目“核地球物理学天然伽玛场的研究”(项目编号:40774063)的资助.

第一作者简介:谷懿,研究方向核技术及应用. Email:guyias@163.com

1 引言

地球上绝大多数地震都是构造地震。关于构造断裂与地震的关系,鲍尼拉曾对全球 108 次大地震资料进行统计研究,其中 91% 的地震发生在原先存在的断层上,8% 属不清楚,只有一例发生在无断层区域^[1]。5·12 汶川地震就发生在原先存在的断层上,与龙门山断裂带有着紧密的联系。

早在 1975 年,美国地质调查所开始对圣安德列斯断层和卡拉维拉斯断层的 60km 活动带的 20 个监测孔进行了地下氦气的监测^[2]。1978 年,日本伊豆大岛近海地震时,加藤完等人利用 α 径迹蚀刻法对稻取一大峰山断层、浅间山断层和伊豆半岛和富士川地区的活断层都进行了调查^[2]。当前利用测量断层氦气释放强度、范围等的变化来寻找覆盖区断裂(带)的空间分布位置及分析评价其相对活动性,已逐渐在国内外得到较广泛的应用。

2 土壤氦测量评价断裂带活动性的理论基础

保留在岩石中的氦气是受束缚的,不能参与扩散和对流等迁移作用,但在活动断裂带等岩石疏松或孔隙相对较多的地段,一方面由于其破碎带胶结程度差,有效孔隙度和渗透率高,成为放射性气体富集和运移的良好通道;另一方面,由于断层的新活动性,比如地震、滑坡等地质灾害,使束缚在断裂带两盘岩石孔隙中的放射性气体释放出来成为自由氦。放射性气体自由氦,受扩散和对流等作用的影响而发生运移。在基岩的破裂构造等岩石疏松或孔隙相对较多的地段,氦气能更迅速的自地下深处运移到地表,所以在断裂破碎带的上方常常存在着氦(R_n)的异常。

由于上述两方面原因,在断裂上部的土壤中会形成氦射气的富集带,土壤中氦浓度也相应会高于地区的氦浓度背景值。

3 研究地区的地质情况及主要断裂带

本次研究的区域包括以成都为中心的成都平原中部和成都平原西北方向的龙门山南部前山构造带的一部分,位于龙门山造山带的东南部,称之为大成都地区(图 1 中虚线)。龙门山前山带位于北川—映秀断裂与彭灌断裂之间。该带发育两种构造样

式:一种为叠瓦状构造;另一种为飞来峰构造,具双层推覆的性质。该带的前缘断裂为彭灌断裂,走向 NE,倾向 NW,倾角较陡,叠瓦状次级断裂发育;断裂构造岩以角砾岩和碎裂岩为主,具浅层次的脆性断层变形特征。因此该构造地层带属于较强变形带,具变形、变位的“两变”特征,主要由已强烈变形和变位的沉积岩构成。^[4]

成都平原由岷江、沱江及其支流等 8 个冲积扇重叠联缀而成复合的冲积扇平原。总体上成都平原处于四川沉降带西侧,介于龙门山隆起褶皱带与龙泉山褶皱带之间。西侧的龙门山山前地带断层发育,东部为熊山—龙泉山构造带,发育一系列雁行式 NE 向展布的断层。

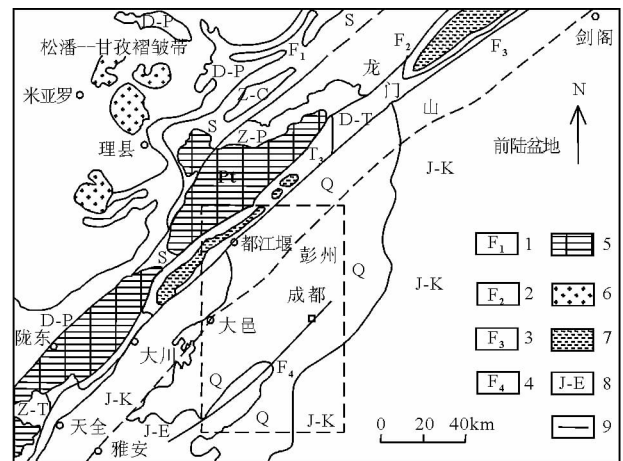


图 1 龙门山造山带构造地层格架(李勇等,2000)

Fig. 1 The tectonic framework of Longmen Mountain structural belt

1. 青川—茂汶断裂;2. 北川—映秀断裂;3. 彭灌断裂;
4. 新津—蒲江断裂;5. 杂岩;6. 花岗岩;7. 飞来峰;
8. 地层时代;9. 剖面线

大成都地区包含的主要地质断裂带有位于龙门山冲断褶皱带的北川—映秀断裂、位于成都平原的彭灌断裂带和新津—蒲江隐伏断裂带。上述 3 构造断裂的活动性直接受龙门山造山构造活动的影响,决定了大成都地区的地震安全性。

4 土壤氦测量结果及分析评价

4.1 震后大成都地区断裂带剖面土壤氦测量结果

在 2008 年 12 月,对影响震后大成都地区安全性最大的 3 个主要活动断裂带进行了测量,土壤氦

浓度测量是使用成都理工大学核工系研制的 IED-3000R 型测氡仪,测量结果为 α 粒子脉冲计数。其中,对北川断裂在虹口段测量了 1 条断裂剖面;测量了 1 条新津—蒲江隐伏断裂剖面;在作为成都平原与龙门山造山带的边界——彭灌断裂带上测量了 3 条断裂剖面。仪器测量结果均经气压校正,以每条测线测量平均值加减 3 倍标准差为限,剔除特别大或特别小的测量值后的平均值作为背景值,以超过背景值的 1.5 倍标准差的测值作为存在的地球化

学异常(表 1)。

4.2 大成都地区断裂带剖面数据解释

由于断裂土壤氡气测量受地形、表层土壤结构等测量条件的影响较大,因此需要以测量数据为基础,结合测量地点的地形、表层土壤结构等地质条件,对断裂(带)的位置、范围和活动性做综合分析解释,合理地评价断裂带的活动性。

表 1 断裂剖面测量数据处理结果

Table 1 The result of radon concentration measurement on profile of faults

断裂名称	平均值	背景值 $R_n B$	异常阈值 $R_n F$	最大值 $R_n E_{max}$	异常阈值比背景值 $R_n F/R_n B$	最大值比背景值 $R_n E_{max}/R_n B$
北川断裂虹口剖面	205.9	188.7	416.1	687.0	2.20	3.64
彭灌断裂小鱼洞剖面	133.0	133.0	198.8	226.7	1.50	1.71
彭灌断裂中坝剖面	165.8	165.8	259.8	248.0	1.57	1.50
彭灌断裂白鹿剖面	99.5	99.5	169.8	191.0	1.71	1.92
新津—蒲江断裂剖面	59.0	52.6	118.5	194.1	2.25	3.69

(1)北川断裂虹口剖面,测线长 305m,测量间距 10~15m,异常点附近以 5m 间距加密测量(图 2)。由图 2 可以明显的看出剖面地表距离 37m 和 101m 处有两土壤氡浓度异常高点。两异常高值点之间表层土壤受汶川地震活动的影响,呈“U”型凹陷状,表层土壤结构裂隙发育,使土壤对氡气的富集作用失效,土壤氡在扩散和大气的“抽吸”作用下逃逸出土壤,因此该测量范围的土壤氡浓度偏低。综合实际测量时,裂隙带两侧地表土壤结构未破坏处土壤氡气浓度测量异常,证明该区有断裂活动,且断裂的范围即为土壤氡浓度测量两高值点之间的距离,与地质勘察结论一致。

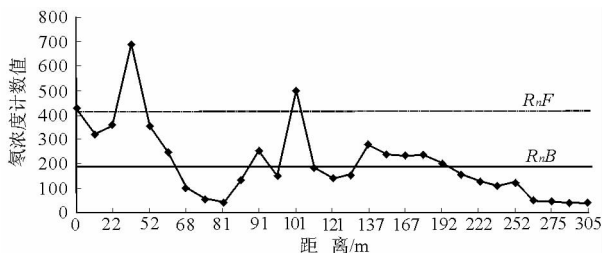


图 2 北川断裂虹口剖面测量结果图

Fig. 2 Radon concentration measurement profile on the Beichuan fault zone

(2)彭灌断裂小鱼洞剖面,测线长 320m,以 10m 左右地表间距测量。彭灌断裂小鱼洞测量剖面实地测量条件较好,“5·12”震后土壤未曾翻整,总体土壤结构完整(图 3)。氡气测量在地表距离 90m 和 177m 两点处土壤氡浓度异常。其中,在水平距离 177m 处的异常与断裂地表断错位置符合,为此次地震活动断裂。而在地表断错位坡上方 80m 处(即图 3 水平距离 90m 处)的异常经分析存在两种情况:①存在一尚未发现断裂或分支断裂;②表示活动断裂宽度,有待后续深入测量研究。

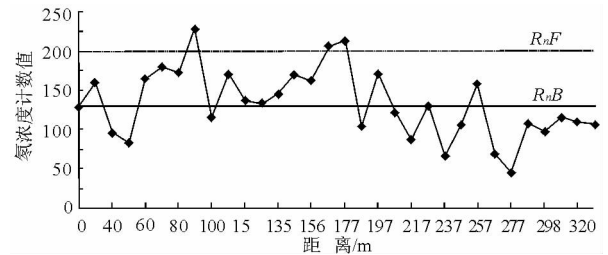


图 3 彭灌断裂小鱼洞剖面测量结果图

Fig. 3 Radon concentration measurement profile on the Xiaoyudong segment of Pengguan fault zone

(3)彭灌断裂中坝剖面,测线长 110m,以 10m 左右地表间距测量,异常点加密测量。彭灌断裂中

坝剖面表层为砂质粘土,腐质粘土,下夹碎石(图4),地表距离从59~85m的范围内土壤氦浓度高于背景值,趋于异常,证明了活动断裂存在,而氦测量连续高值点的距离也说明该断裂的作用范围较大,约20m。

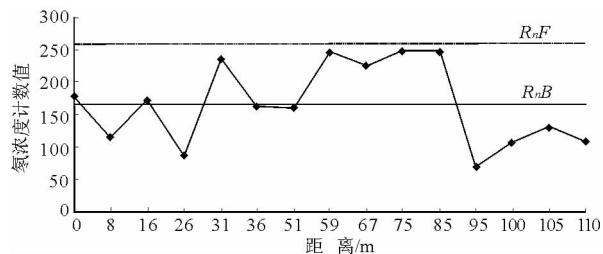


图4 彭灌断裂中坝剖面测量结果图

Fig. 4 Radon concentration measurement profile on the Zhongba segment of Pengguan fault zone

(4)彭灌断裂白鹿剖面,测线位于白鹿中学旁,长45m,测点间距为5m。测量剖面为沿山坡方向由坡脚往高处测量,受测量条件的影响在第10测点后,即地表距离45m,坡度约60°,已无作业平台,被迫结束该剖面测量(图5)。从现有数据看来,在40m处土壤氦浓度有一高值点,表示出在此附近土壤氦浓度异常。考虑在25~35m地表距离范围,测量剖面侧方向上一勘察探槽的影响,氦浓度异常点有可能向南东方向移动,这与断层位置基本相符合,是可以证明断层的存在和活动的。

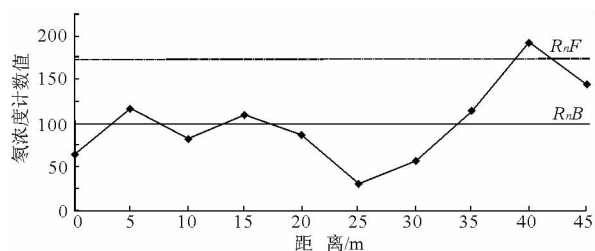


图5 彭灌断裂白鹿剖面测量结果图

Fig. 5 Radon concentration measurement profile on the Bailu segment of Pengguan fault zone

(5)新津—蒲江断裂测量剖面位于路边山谷中。测线长305m,测量间距10~15m,异常点附近以5m间距加密测量。从图6新津—蒲江断裂剖面氦浓度曲线可以看出,在地表距离80m测点处氦浓度达到最高值,远远高于该地区的背景值,可以证明此处断层的发育。从剖面位置来看,第17测点后均

为边坡测量,表层粘土较薄,抽气深度更接近具有良好扩散通道的砾石层,因此,第17测点后土壤氦浓度值较之前非异常点氦气浓度值稍高。

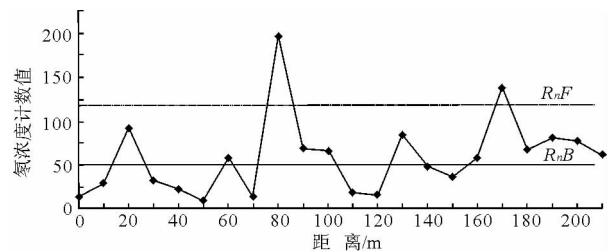


图6 新津—蒲江断裂剖面测量结果图

Fig. 6 Radon concentration measurement profile on the Xinjin - pujiang fault zone

4.3 汶川地震震后大成都地区断裂带活动性评价

从表1可以看出,在所测量的5个有效断裂剖面中,北川断裂剖面测量土壤氦浓度的背景值最大,远高于该地区非断裂带氦浓度计数值(30~50);彭灌断裂带上测量剖面背景值其次,也高于该地区非断裂带氦浓度背景值;新津—蒲江断裂测量结果最低,与该地区非断裂带氦浓度背景值一致。说明大成都地区断裂受汶川地震的影响较大,且距地震震中越近,断裂活动区域受构造运动影响越大,地质活动越剧烈,其剖面土壤氦浓度测量背景值越大。

目前,国内外尚未对运用氦气测量方法来研究断裂活动性分级(活动强度级别)作出一个统一的、普遍适应的判别标准。仅有个别学者根据其经验,提出了仅适用于局部地区性应用的相对判别依据。参考前期学者在研究中提出的判断指标,以异常值 R_nF 与背景值 R_nB 的比值和最大值 R_nE_{max} 与背景值 R_nB 之比作为大成都地区的断裂活动性判别的相对标准表。从表1处理结果所列,断裂剖面的 R_nF/R_nB 值均不大于3, R_nE_{max}/R_nB 值均小于5,因此,总体上3条断裂的活动性均为中强—弱范围内,目前大成都地区并无活动性极强的断裂。北川断裂与新津—蒲江断裂的活动性比彭灌断裂活动性相对更强;北川断裂的相对活动性与新津—蒲江隐伏断裂的活动性强度基本一致,彭灌断裂相对活动强度较弱。

基于断裂剖面土壤氦浓度测量结果,从氦浓度异常(相对高值)的宽度指示出的断裂规模来看,以北川断裂规模最大,彭灌断裂其次,新津—蒲江断裂范围、规模较小。北川断裂对大成都地区震后安全性的影响最大。

5 结 论

汶川地震震后,运用活动断裂(带)剖面上的土壤氡浓度测量,对大成都地区震后活动断裂的相对活动性进行科学评价。通过实际工作表明:震后大成都地区断裂活动相对比较稳定,大成都地区断裂带的活动性处于中等或偏弱的水平,无活动性极强的断裂;其次,也说明了该方法可以较好地反映出断裂构造的相对位置和断裂构造的活动性,是一种切实有效的断裂活动性评价方法。

参 考 文 献

- [1] 吴慧山,林玉飞,白云生,常桂兰. 氡测量方法与应用[M]. 北京:原子能出版社,1995.
Wu Huishan, Lin Yufei, Bai Yunsheng, Chang Guilan. Radon measurement and application. Beijing: Atomic Energy Press, 1995.
- [2] 李起彤等编著. 活断层及其工程评价[M]. 北京:地震出版社, 1991.
Li Qitong, et al.. Active fault and its engineering appraisal. Beijing: Earthquake Press, 1991.
- [3] R. B. Mosley, M. Y. Menetrez. The influences of diffusion and advective flow on the distribution of radon activity within USEPA's soil chamber[J]. Environment International, 2002, **22**(Suppl. 1):521 ~ 533.
- [4] 李勇,孙爱珍. 龙门山造山带构造地层学研究[J]. 地层学杂志,2000, **24**(3):201 ~ 206.
Li Yong, Sun Aizhen. Tectostratigraphy of Longmenshan orogen. Journal of Stratigraphy, 2000, **24**(3):201 ~ 206.
- [5] 张骏,高秀君,李侠,等. 霍州矿区隐伏断裂(带)活动性氡气测试成果解释分析[J]. 高原地震, 2000, **12**(1):16 ~ 21.
Zhang Jun, Gao Xiujun, Li Xia, et al.. Explanation and appraisal for active fault by radon measurement. Earthquake Research in Plateau, 2000, **12**(1):16 ~ 21.
- [6] 张骏,李西建,邹艳琴,齐朝辉,卢玉东等. 北秦岭地带断裂活动性氡气测试成果分析评价[J]. 工程地质学报,2001, **9**(1):81 ~ 86.
Zhang Jun, Gao Xiujun, Li Xia, et al.. Analysis and evaluation of radon survey result in relation with fault activity in Northern Qinling belt. Journal of Engineering Geology, 2001, **9**(1):81 ~ 86.
- [7] 邵永新,杨绪连,李一兵. 海河隐伏活断层探测中土壤氡和气汞测量及其结果[J]. 地震地质,2007, **29**(3):627 ~ 635.
Shao Yongxin, Yangxulian, Li Yibing. The result and measurement of soil gas radon and soil gas mercury in the exploration of Haihe hidden fault. Seismology and Geology, 2007, **29**(3):627 ~ 635.
- [8] 吴慧山,蒋永一,唐声喤,赵树新. 核技术勘查[M]. 北京:原子能出版社,1998.
Wu Huishan, Jiang Yongyi, Tang Shenghuang, Zhao Shuxin. The exploration of nuclear technology. Beijing: Atomic Energy Press, 1998.
- [9] A. L. Robinson, R. G. Sextro and W. J. Riley. Soil gas entry into houses driven by atmospheric pressure fluctuations - the influence of soil properties[J]. Atmospheric Environment, 1997, **31**(10):1487 ~ 1495.
- [10] J. Kemski, A. Siehl, et al.. Mapping the geogenic radon potential in Germany[J]. The Science of the Total Environment, 2001, (272):217 ~ 230.
- [11] 董顺利,李勇,乔宝成,马博琳,张毅等. 汶川特大地震后成都盆地内隐伏断层活动性分析[J]. 沉积与特提斯地质,2008, **28**(3):1 ~ 7.
Dong Sunli, Li Yong, Qiao Baocheng, Ma Bolin, Zhang Yi. Analysis of the new activity of the buried faults in the Chengdu basin after Wenchuan Earthquake. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2008, **28**(3):1 ~ 7.