

玛曲断裂带土壤气汞、氡地球化学特征

赵振燊¹, 张 慧^{1,2}, 苏鹤军^{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:根据汞、氡土壤气在断层上的形成机制,分析了玛曲断裂带土壤气中汞、氡地球化学异常特征,并依据异常判断了断层的位置、产状、性质。与断层的实际剖面所反映的断层规模与性质基本耦合。为评价活断层提供了有益的参考。

关键词:玛曲断裂带; 土壤气; 活动断层; 汞、氡; 地球化学特征; 异常

中图分类号: P641.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2011)04-0376-04

The Geochemical Features of Mercury and Radon on Maqu Active Fault

ZHAO Zhen-shen¹, ZHANG Hui^{1,2}, SU He-jun^{1,2}

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

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

Abstract: According to the forming mechanism of soil gases above faults, the abnormal geochemical features of mercury and radon on Maqu active fault are analyzed. The position, occurrence and mechanical property of Maqu active fault are determined by the abnormal geochemical features, and which are consistent with the scale and characters of the fault from the fault section. The conclusions provided a useful reference for active faults evaluation.

Key words: Maqu fault; Soil gases; Active fault; Mercury and Radon; Geochemical feature; Anomaly

0 引言

玛曲断裂带属于东昆仑活动断裂带的东段。断裂西起玛沁盆地北侧,以玛沁盆地与东昆仑断裂带的托索湖—玛沁段左阶斜接,向东经肯定那、西贡周、西科河南岸、唐地、玛曲,沿黑河南岸穿过若尔盖草地向东,直至岷山北端求吉附近,长约 330 km^[1]。笔者此次化探场地主要集中在玛曲段,位于玛曲县城南侧。该段走向 285°~290°,倾向 NE,倾角 70°~86°,断面平直光滑,沿断裂有一系列古地震形变遗迹,为 1 条发震断层(青海省地震局等,1999)。断裂在地貌上主要表现为正断裂陡坎^[2]。玛曲段晚第四纪的活动性非常强烈,晚更新世晚期至今的平均水平走滑运动速率达 10.15±0.34 mm/a^[3]。

目前国内外利用断层气氡、汞地球化学特征进

行活动构造的研究发展迅速,已得到地震地质界的广泛重视和应用^[4-6]。断层气的测量在活动构造方面的应用,可分为以下几个方面:(1)利用断层气异常特征确定断层的性质;(2)确定隐伏断层,以及断层活动性研究;(3)断层分段性的研究。与其他手段相比,断层气测量具有易操作、经济、快速和易流动观测等优点^[7-8]。

本文研究的主要内容是用断层气测量方法进行野外现场勘测,分析每条测线上汞、氡的地球化学特征;主要目标是分析玛曲断裂土壤气氡、汞的地球化学特征及其与活动构造的关系;研究重点是利用土壤氡、汞的异常分布特征来研究断层活动性特征。在此基础上为今后该地区流体台网优化布设、流动

收稿日期:2011-04-13

基金项目:中国地震局地震预测研究所基本科研业务项目(A88-5);中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC2011052

作者简介:赵振燊(1986-),男,四川人,硕士,主要从事地震地下流体研究。

观测网络建设以及地下流体前兆异常提供背景资料。

1 断层土壤气组分氦、汞地球化学行为

地球是一个复杂的开放的系统,地壳放气是岩石圈与大气圈进行物质、能量、信息交换的一种重要形式。地壳中断裂带是地壳逸出气体的通道之一。地壳逸出气测量的气体组分有氦、汞、He、CO₂、H₂、As、Sb、Bi、B等。氦、汞是其中常用的两种气体组分。

1.1 氡地球化学行为

氡是一种放射性气体,是惰性气体族(He、Ne、Ar、Kr、Xe、Rn)中的最后一个元素,也是气体中最重的一个元素。氡是镭核衰变的中间产物,有4个同位素,²²²Rn和²¹⁸Rn是铀衰变产物;²¹⁹Rn和²²⁰Rn分别是锕系和钍系衰变产物。其中主要的是²²²Rn,它的半衰期为3.825 d,衰变常数为 $2.097 \times 10^{-6} \text{ S}$;α粒子能量是5.481 MeV,在空气中的射程低于4.04 cm^[9]。

氡气在一定压力差、温度差、梯度差下,从下往上迁移,在迁移的过程中由于所通过的岩层岩性及构造环境不同,在地下形成不同的氡、汞气聚集。含有镭或其他某些元素的固体物体向外部介质自发地或人为地释放放射性气体氡的过程,称为射气作用。氡的消散通过这种作用经过断裂通道向大气释放。在断裂带的出露位置及其上盘的土壤中氡的含量较高,形成异常区域。

气象因素及条件对氡气体的消散具有明显的影响。研究表明(吴慧山,1995,牟保全,1999)气压与氡的消散量表现为负相关。气压降低,消散量将增大;土壤的温度特别是温度的变化量,能够影响氡的消散量,夜间土壤中氡的射气通量最大,即为日间平均值的1.5~2.0倍。降雨对氡的消散的影响较为复杂:少量降雨导致射气扩散系数增大及氡的受压,因此消散量增高;连续降雨时,由于土壤中的毛细管被堵塞,氡的消散量降低。另外,吴慧山(1995)将毛细管对氡射气的吸附作用导致的物质射气能力的下降做出了机理解释。

1.2 汞地球化学行为

汞是常温下唯一呈液态的金属。汞具有两个明显的特性:热敏性和高渗透性。汞在常温下具有明显的蒸汽压,还具有极强的穿透能力。汞的化学性质比较稳定,在常温的干燥气体中是一种稳定的元

素,只有在高温时与氧发生反应。

地幔物质在长期分异过程中由于蒸气作用而形成汞,常常沿深部断裂发生迁移,断层土壤气中汞的来源以及汞自地壳深部向地表的迁移机理是利用断层气开展活断层探测的理论基础。汞迁移主要是靠渗透—扩散和对流两种方式,其长距离迁移机理与氦一样。汞具有较强的渗透能力,因而汞的垂直扩散距离比氦的大得多。研究结果认为,地震孕育过程中,震源附近应力集中,汞蒸气逐渐增加并聚集在深大断裂带附近。在高温和压力作用下,汞蒸气有可以沿深部断裂或岩石裂隙向地表迁移,当穿过上覆不同介质覆盖层时,汞蒸气被吸附、吸留或溶解期间形成汞异常,使地震活动区介质中汞含量明显高于外围地区^[10]。

2 测线布设和测量方法

2.1 测量对象和取样方法

测量对象有测汞、测氡两项。汞测量采用JM-4数字金膜测汞仪,具有体积小、轻便、灵敏度高等特点,最低检出限为 10^{-2} ng ;氡的测量采用FD-3017RaA测氡仪,为一种瞬时测氡仪器,极限探测灵敏度为0.37 Bq/L。

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。

2.2 测线布设

根据前人的研究结果,玛曲县城外的断裂带在卫星片上影像清晰,总体方向呈SEE方向展布。因此在该断裂近于直交,由北向南布设了3条测线。每条测线上测点间距为10 m,当测到异常点时重复测量,并进行加密观测点距为5 m。同时在高值点附近再布设一条平行短测线,点距5 m。3条测线分别是:①玛曲东侧剖面,长约270 m,共34个测点;②玛曲中间剖面,长约300 m,共36个测点;③玛曲西侧剖面,长约280 m,共29个测点(图1)。

3 玛曲县断裂带土壤气汞、氡测量结果

3.1 断层气影响因素、异常特征以及异常识别

由于汞、氡异常的形成与活断层的规模大小,活

动程度,断层的倾向、倾角,破碎带宽度,充填物的透
气性、覆盖层厚度等因素有关,同时氦、汞受气候条
件、地貌、植被和人类活动影响。

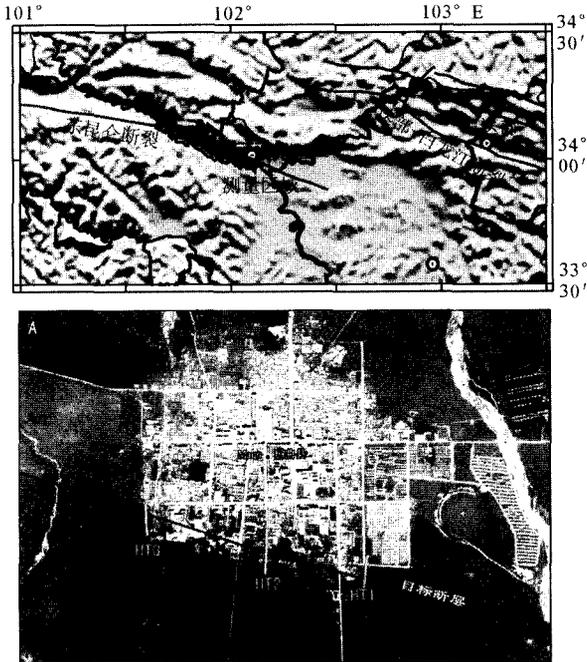


图1 玛曲活断层地球化学测线分布示意图
Fig.1 Distribution map of geochemical survey lines
across Maqu active fault.

气汞和气氦异常在平面上呈线性条带状延伸,
其延伸方向和断裂破碎带位置相吻合;在测线剖面
方向上,断层气异常多呈尖峰状。在某些断裂上,气
体异常以多峰谷形出现,常常和断裂带的破碎宽度
有关。特别是倾角较缓的断层,在断层上盘羽状节
理和裂隙往往都比较发育,地下气体可由此向上运
移和富集,因此形成了较大宽度的气体异常。

3.2 玛曲断裂带土壤气汞、氦测量结果

图2为玛曲HT1测线汞、氦浓度异常曲线。由
图可知:汞浓度曲线出现1组峰值异常形态,其最大
值0.171 45 ng/L,是背景值0.113 3 ng/L的1.5
倍;氦浓度曲线也出现1组峰值异常形态,其最大
值15.406 3 Bq/L,是背景值3.124 6 Bq/L的4.9
倍。其中,汞值较高测点为第6、7、25测点,氦
值较高测点为第26、27测点。并且氦的异常范围
与汞异常测点第25个点有相邻,具有对应的异常
关系。

图3为玛曲HT2测线汞、氦浓度异常曲线。由
图可知:汞浓度曲线出现1组峰值异常形态,其最大
值0.240 03 ng/L,是背景值0.128 9 ng/L的1.9
倍;氦浓度曲线也出现4组峰值异常形态,并且相
邻较近,在10~25 m的范围内,其最大值

25.395 Bq/L是背景值9.241 Bq/L的2.7倍。在
点距100 m处有挖出的断层剖面,氦的4组峰值
的影响范围约为100 m,都是在出露的断裂带附近。

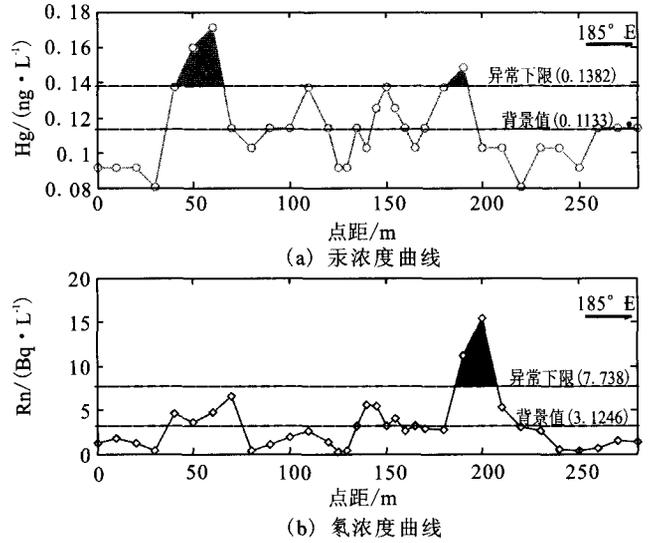


图2 玛曲HT1测线汞、氦浓度曲线

Fig.2 The abnormal variation curves of ardon and mercury
along HT1 line across the Maqu fault.

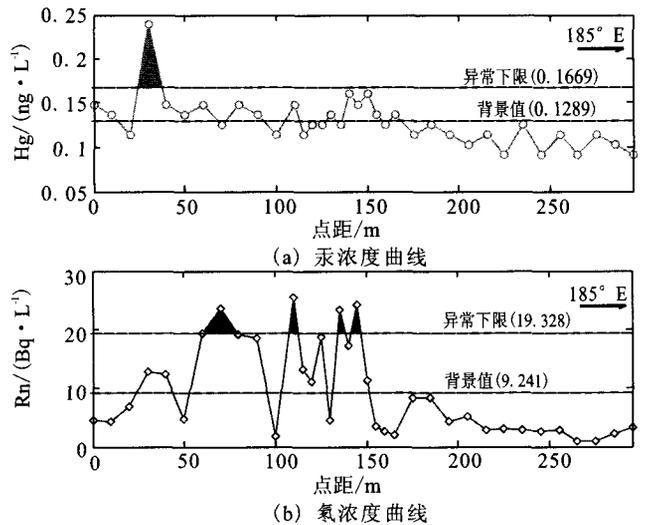


图3 玛曲HT2测线汞氦浓度曲线

Fig.3 The abnormal variation curves of ardon and mercury
along HT2 line across the Maqu fault.

图4为玛曲HT3测线汞、氦浓度异常曲线。由
图可知:汞浓度曲线出现1组峰值异常形态,其最大
值0.182 88 ng/L,是背景值0.093 2 ng/L的2倍;
氦浓度曲线出现2组峰值异常形态,其最大值
10.665 9 Bq/L,是背景值5.014 8 Bq/L的2.1倍。
且氦的第2组异常值与汞的异常高值比较相邻,具
有对应的异常关系。断层剖面在200 m处,汞、氦
异常区域都发生在断层的上盘且靠近出露的断层
剖面。

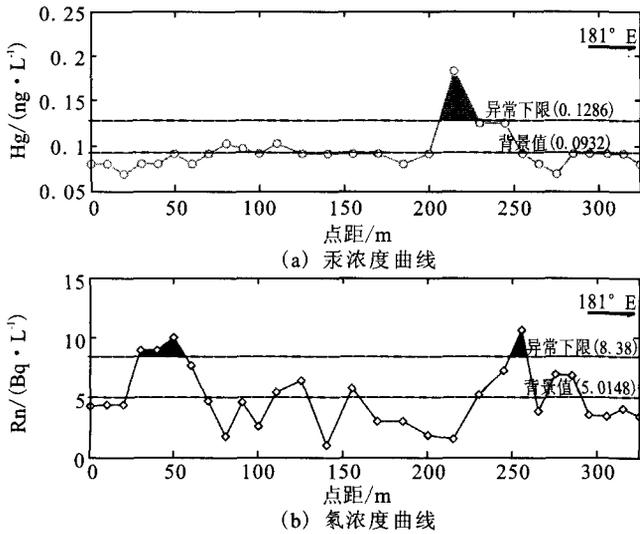


图4 玛曲 HT3 测线汞、氡浓度曲线图

Fig. 4 The abnormal variation curves of ardon and mercury along HT3 line across the Maqu fault.

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,氡的平均值与均方差分别用 R 和 δ_2 表示,我们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、氡异常下限,土壤气中所测汞、氡的含量的单位分别是 ng/L 和 Bq/L 。3 条测线的土壤气中汞、氡的结果见表 1。

表 1 测线土壤气汞、氡的数据分析

测线	K	δ_1	$K + \delta_1$	R	δ_2	$R + \delta_2$
HT1	0.113 3	0.024 9	0.138 2	3.124 6	4.613 4	7.738 0
HT2	0.128 9	0.038 0	0.166 9	9.241 0	10.087 0	19.328 0
HT3	0.093 2	0.043 1	0.136 3	5.014 8	5.123 5	10.138 3

综上所述,HT1、HT2、HT3 剖面是确定的异常剖面,正好处于断层剖面附近。其中,HT1 剖面 and HT3 剖面的异常区域都在断层的上盘。HT2 剖面横跨了断层,异常区域在断层的两盘都有分布,在第 1 组峰值和第 2 组峰值之间出现了一个低值,可能是因为该处居民居住导致地层的不均一性而产生的异常低值点。总体来说,玛曲县断裂带的研究场地地质条件比较均一,受人类活动等因素影响较小,得出的实验结果有一定的参考性。在研究区域,汞背景值偏低,为 $0.111 8 \text{ ng/L}$,氡背景值偏高,为 $5.793 5 \text{ Bq/L}$ 。汞背景值偏低可能是地下潜水对测汞仪的取气都存在着影响,也可能是潜水对毛细管屏蔽引起的。出现较高的氡背景值可能是因为第四纪覆盖物与深部基岩形成良好的贯通,并且在一定程度上反映了断层的活动性较强。

4 认识与讨论

(1) 玛曲县断裂具有明显的土壤断层气异常显示,在 3 条测线上均出现了峰值异常区域。从测量的结果来看,3 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) 深部地下流体沿着断裂带向上运移和富集,在断裂带上方覆盖形成了漏斗形的土壤气体异常晕。因此土壤气汞、氡的异常形态为:低—较高—高—较高—低的峰值形态,HT2 剖面 100 m 处的异常低值点为一单点异常,主要是探测过程中的干扰因素造成的。

(3) TH2 剖面中,氡值异常区域分布广泛,跨过了断层的两盘,在下盘有 1 个异常区,在上盘有 3 个异常区。上盘的 3 个异常区域,在测线剖面上分布范围约为 80 m,相对断层规模较小,反映了该断层是倾角较陡的正断层,这与前人得出的断层倾角为 $70^\circ \sim 80^\circ$ 相一致。

(4) 玛曲断裂所在区域为草原,地质条件均一,受外在因素影响小,其氡背景值较高,约为 $5.793 5 \text{ Bq/L}$,异常也比较明显,在一定程度上能反映该断裂的活动性。并且有利于定期流动观测,为以后检测该断裂的活动性提供一种经济而又实用的监测手段。同时,为今后该地区流体台网优化布设、流动观测网络建设以及地下流体前兆异常提供背景资料。

[参考文献]

[1] 何文贵,熊振,袁道阳,等. 东昆仑断裂带东段玛曲断裂古地震初步研究[J]. 中国地震,2006,22(2):126-134.
 [2] 李陈侠,徐锡伟,闻学泽,等. 东昆仑断裂东段马沁—玛曲段几何结构特征[J]. 地震地质,2009,31(3):441-458.
 [3] 马寅生,施炜,张岳桥,等. 东昆仑活动断裂带玛曲段活动特征及其东延[J]. 地质通报,2005,24(1):30-35.
 [4] 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.
 [5] 杨少平. 壤气中氡汞联测在监测汶川余震中的作用[J]. 物探与化探,2010,34(6):778-786.
 [6] 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.
 [7] 高清武. 断层气测量在地震科学中的应用[M]. 北京:地震出版社,1991:122-127.
 [8] 孟广魁,何开明,班铁,等. 氡、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.
 [9] 常桂兰. 氡与氡的危害[J]. 铀矿地质,2002,18(2):122-128.
 [10] 康春丽,杜建国. 汞的地球化学特征及其映震效能[J]. 地质地球化学,1999,27(1):79-84.