

岷县漳县6.6级地震后申都乡地窖宏观 异常现象及其机理探讨

李晨桦^{1,2}, 张慧^{1,2}, 张昱¹, 陈兰庆¹, 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:2013年7月22日甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震后岷县申都乡某地窖出现冒白色烟雾的宏观异常现象。本文通过土壤气Rn、Hg现场检测和采样后气相色谱检测、生物显微镜观察结果,探讨了气体来源、赋存和运移机理以及异常形成的物理化学机制。认为该点具有灵敏的断层活动响应,可作为今后开展断层活动及未来甘东南地震趋势预测判定的断层土壤气监测点进行长期监测。

关键词:岷县漳县 $M_s6.6$ 地震;异常现象;断层土壤气;甘东南地区;

中图分类号:P315.721 文献标识码:A 文章编号:1000-0844(2013)04-835-05

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.04.835

Study on the Mechanism of the Macroscopic Anomaly of a Cellar in Shendu following the Minxian – Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake

LI Chen-hua^{1,2}, ZHANG Hui^{1,2}, ZHANG Yu¹, CHENG Lan-qing¹, SU He-jun^{1,2}

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

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

Abstract: Precursory and coseismic anomalies of fault gas often appear prior to and following an earthquake. Following the Minxian–Zhangxian $M_s6.6$ earthquake, an abnormal phenomenon occurred in Shendu, Minxian, and China, in which a large amount of white smoke was observed in a cellar. Physical evidence obtained recently demonstrates that deep fluid has a significant influence on earthquake gestation and that earthquakes involve a large number of chemical processes and may not be results of purely mechanical or physical processes. These deep fluids, which migrate to the ground surface, originate from the dehydration of hydrous minerals and contain a substantial amount of information about the crust and mantle. Thus, gases present in the soil offer the same information. Convenient, low-cost methods of measuring soil gases such as Hg and Rn that have been developed for wide application to active fault detection have also proven to be highly efficient for hazard assessment. The anomaly site is located in the southeastern Gansu area, which is at the northeast edge of the Tibetan Plateau in the middle of the North – South-trending seismic belt. Because this belt contains a group of active faults that produce intense tectonic activity in its boundary and interior, it is often used to study seismic hazards and the background field of southeastern Gansu.

收稿日期:2013-11-05

基金项目:中国地震局地震预测研究所基本科研业务项目(2013IESLZ04);地震科技星火计划项目(XH12048)

作者简介:李晨桦(1990-),女(汉族),研究实习员,硕士,主要从事地震地下流体研究. E-mail:lichenhuayatou@126.com

通讯作者:苏鹤军(1973-),男(汉族),硕士,高级工程师,主要从事地下流体应用基础理论研究. E-mail:suhejun@126.com

In this study, Rn and Hg soil gases collected near a cellar in Shendu, Minxian, following the Minxian - Zhangxian $M_s6.6$ earthquake were tested on site. The results were combined with those of test samples examined by gas chromatography and a biological microscope to analyze the source, storage, transport, and physical and chemical mechanisms of the underground gases. The results reveal that following the earthquake, Rn and Hg values, in addition to those of CO_2 and He, were higher; therefore, the deep gases migrated upward along ruptures and fractures during the earthquake. In addition, white smoke observed in the cellar and examined by a biological microscope was found to contain a large amount of sporopollen. We conclude that changes in the cellar condition led to the rapid reproduction and maturation of certain fungi growing on rotting wood at the top of cellar, and the resultant the white sporopollen floated in the escaping deep gas to resemble white smoke. Thus, the white smoke was related to the underground fault gas escaping from the deep strata. Therefore, because this cellar is located near a fault, a large amount of fault gases were released after the earthquake. The line between the epicenter and the anomaly site is the same as the long axis of intensity distribution, which indicates that the site is on the seismic fault. Therefore, it appears that this region is sensitive to fault activities and can thus be used as a long-term fault-gas monitoring site to study the aftershock sequence, fault activities, and earthquake prediction trend of southeastern Gansu. This method can lead to earlier warnings of large earthquakes, which may save thousands of lives.

Key words: Minxian-Zhangxian $M_s6.6$ earthquake; abnormal phenomenon; soil gas on fault; southeastern Gansu area

0 引言

近十多年来,大量的地球物理证据表明深源流体活动对地震发生有着重要影响。地震可能不是一个纯粹的力学或者物理的过程,而是涉及到大量化学过程的参与。深源流体主要源于含水矿物的脱水^[1],对地壳有非常重要的影响。渗透到地表的深部流体携带有大量的地壳地幔信息^[2-3]。强祖基等^[4-5]将我国及周边多次地震震前出现的卫星热红外异常现象的机理解释为伴随地震孕育过程的地球排气现象;在远离板块边界的印度孟买地区1993年 Killari 地震及其后续地震前出现过大量的地下排气现象和卫星热红外异常现象^[6-7];深钻流体地球化学监测发现气体中 He、Ar、 N_2 、Rn、Hg 的浓度有许多前兆和同

震异常^[8];汶川地震破裂带深钻气体测量表明,汶川地震后龙门山断裂带有大量断层气体释放,并在震后持续多天,不同气体组分所呈现的异常规律不同,且异常数量随着震中距的增加而明显减少^[9]。可见地震前后出现地下排气现象较为普遍。

本文通过对2013年7月22日甘肃岷县漳县 $M_s6.6$ 地震后岷县申都乡某地窖出现的冒白色烟雾宏观异常现象的现场调查,结合土壤气 Rn、Hg 现场检测,采样后气相色谱检测、生物显微镜观察结果,着重从气体来源、赋存和运移机理方面入手,探讨异常形成物理化学机制及其与区域地震活动之间的关系。

1 区域背景及宏观异常现象

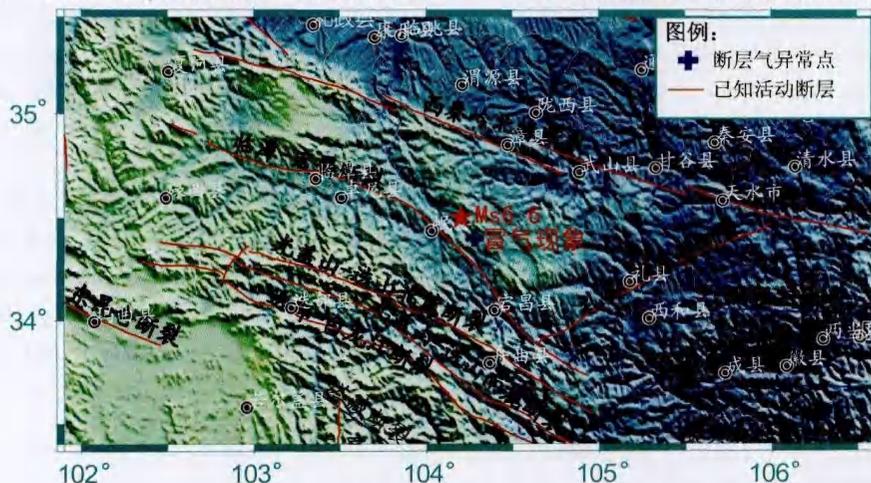


图1 气体异常点和区域断裂示意图

Fig.1 The regional faults distribution and soil gas anomaly site after the Minxian-Zhangxian $M_s6.6$ earthquake

2013年7月22日甘肃省岷县漳县 $M_s6.6$ 地震是近年来甘肃地区发生的较为显著的地震事件。地震后第二天7月23日,岷县申都乡新农村某农民家地窖开始向外冒出白色烟雾;并且地窖内外出现白色粉末状物质。现场观察到地窖顶部是由一排平行排列直径为15 cm的木桩搭建而成,木桩上再覆盖一层泥土。地震后靠地窖顶部一侧木桩表面生长出一层白色菌类,类似一层均匀的白色纤维蛋糕。地窖内充满了白色烟雾,窖内及凹凸不平的墙壁上有一层白色粉末,窖口仍在不断有白色烟雾冒出(图2)。

异常点所在的新农村距离岷县县城约34 km,坐标 $N34^{\circ}24'09.2''$, $E104^{\circ}24'35.5''$,与临潭—宕昌断裂直线距离约18.3 km,距离岷县漳县6.6级地震震中约21 km,处于VII级烈度区。临潭—宕昌断裂西起合作以西,向东南经临潭北、岷县延伸至宕昌以南,长约250 km,由数条规模不等、相互平行或斜列的断裂组合而成。在合作—岷县间,该断裂分为南、北两支,影响范围约5~10 km。在岷县东南一带,又归并为一体,延至宕昌以南。断裂总体呈NWW-NW向展布,倾向NE,倾角 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。断裂在更新世早期以逆倾滑为主,而晚更新世以来则以左旋走滑为主兼有逆倾滑运动特征。该地区主要出露地层为二叠纪灰白色砂岩和早第三纪红土。



图2 地窖异常现象

Fig.2 Photos of the abnormal phenomenon in the cella

2 异常检测

2.1 断层土壤气氩、汞现场检测

7月30日甘肃省地震局组织专家在岷县申都乡新农村开展了现场落实,重点开展了断层气现场测试。在地窖下、地窖口、地窖西北向7 m处以及地窖西南向70 m处

分别测量土壤气Rn和Hg值。打钎深度50 cm左右。使用仪器:测氡仪AlphaGUARD Model P2000,便携式测汞仪512-M。由图3可见,Rn值在30 Bg/L~45 Bg/L范围,Hg值在0.25~0.3 ng/L范围,地窖内外及周围地区Rn、Hg值统一偏高。说明此地下存在断裂带抑或断层裂隙,为断层气提供良好通道。

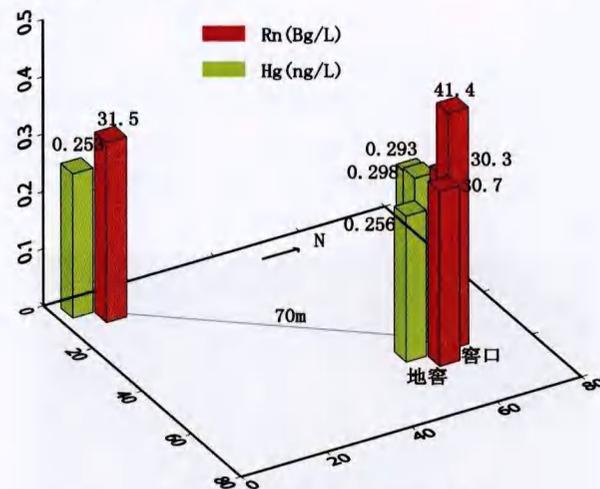


图3 地窖及周围Rn、Hg含量

Fig.3 The concentration of Rn and Hg in and around the cella

2.2 实验室气相色谱检测

采集地窖中不同高度气体,及地窖下,地窖口,地窖周围气体样,进行气相色谱分析。由表1可见,地窖及地窖周围土壤气中存在 CO_2 、He、 N_2 、 O_2+Ar ,其中 CO_2 含量高达1%左右,天水武山温泉水中 CO_2 日常平均含量也仅为0.39%。样品1中未检测到 CO_2 (可能采样有误),样品2中检测到的 CO_2 气体相对较少是因为地窖中的气体通过窖口与大气相通,利于气体的逸散。同时发现气体样中有He气存在,进一步说明土壤气来源于深部断裂带。

表1 气样中各气体含量

Table1 The content of gases in the sample

编号	位置	CO_2 /%	He /%	N_2 /%	O_2+Ar /%
1	地窖中气体(离窖底墙壁各40 cm)	0	8.36×10^{-2}	74.2	20.6
2	地窖中气体(离窖底120 cm 墙壁40 cm)	0.4	5.5×10^{-2}	74.9	20.9
3	窖口西北向7 m处(80 cm深)	1.09	6.01×10^{-2}	80.9	20.8
4	窖口西北向7 m处(100 cm深)	1.08	5.4×10^{-2}	73	19
5	地窖下(30 cm深)	1	6×10^{-2}	80.3	20.8
6	地窖口(100 cm深)	0.9	7.95×10^{-2}	75.3	19.6

2.3 白色粉末检测

将白色粉末送样甘肃省环境监测中心站进行ICP-MS检测,白色粉末不溶于水也不溶于酸,排除碳酸盐类物质可能性。用酸消解白色粉末后检测到的金属组成与土壤相似(如表2),但含量比土壤中低,并非白色粉末的主要成分,且未检测到高含量的硅元素,排除硅酸盐类物

质可能性。由此推断白色粉末物质并非无机物质。

表2 白色粉末中各元素含量

Table 2 The element content of white powder

元素	含量/(mg/kg)	元素	含量/(mg·kg ⁻¹)
Ti	175	Cu	2.39
Cr	6.51	Mo	0.229
Mn	136	Cd	0.217
Fe	5496	Ba	46.5
Co	3.16	Pb	2.84
Ni	7.43	V	8.55
Be, Tl, B, Sb 低于检出限			

将白色粉末送至甘肃农业大学农学院,在生物显微镜下观察,发现微小球形孢子体。由此推断白色粉末属于某种真菌孢子体。如图4,孢子体直径约为5微米,呈球形,有明显的细胞膜和细胞壁。



图4 生物显微镜下未知白色粉末液体

Fig.4 the image of white powder liquid under biological microscope

3 讨论

3.1 异常气体来源

Rn、Hg是地壳逸出气测量常用的两种气体组分。氡是一种放射性气体,是镭核衰变的中间产物,主要是²²²Rn,它的半衰期为3.825 d。氡气在一定压力差、温度差、梯度差下,由下往上迁移,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,氡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、汞含量较高,经常形成异常区域^[10]。汞是常温下唯一呈液态的金属,具有两个明显的特性:热敏性和高渗透性。地幔物质在长期分异过程中由于蒸气作用而形成汞,在这种作用下汞蒸气常常沿深部断裂发生迁移,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氡一样。汞具有较强的渗透能力,因而汞的垂直扩散距离比氡的大得多。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^[11]。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。

另外,全球富CO₂泉点主要沿地震带分布,绝大部分位于年轻的构造带,少量位于大陆地台裂谷区。碳同位素分析表明CO₂气体多数来自地幔,其他重要的来源包括含碳酸盐的海相沉积岩的变质作用和有机物的降解作用。碎裂岩中的CO₂气体的压力抵消了断层带的有效正压力,如果CO₂气体的压力足够大时,可以导致断层发生滑动,如果压力保持足够高的水平,断层将以发生频繁的小地震或无震蠕滑的方式活动。富CO₂泉点的存在意味着潜在灾难性地震的地点^[12]。上官志冠^[13]在对川滇地区断裂带CO₂进行长期观测研究后认为:在新构造活动区,大量的天然CO₂释放点的分布与地震活动有关,这些CO₂绝大部分源自地球深部。这些研究都说明,在地震监测研究中气体具有非常重要的观测研究价值。

而此次异常检测发现,在地窖附近所检测到的Rn值高达41.4 Bq/L, Hg值最高达0.298 ng/L, CO₂值含量也在1%左右,偏高。此外,通常在1 m以下氡的浓度维持在1.0×10⁻³,且不受风速和温度的影响^[14]。此处检测到He浓度最高达8.36×10⁻²,高出三个数量级,可见此处断层土壤气组分统一偏高。且异常点和震中的连线与烈度分布图长轴方向基本重合,显示该异常点下有断裂裂隙通过,地震后断裂打开,地下气体释放。

3.2 异常气体运移机理

研究表明,地下气体在有裂隙水参与的情况下能以较快的速度向地表运移。意大利G. Etiope等人在研究地下微量元素气体时提出了“载体传输模型”^[15],该模型认为:深部地壳气体是一种由微量元素气体和载体气体组成的混合气体,地壳中微量元素气体(Rn、Hg等)是“搭乘”快速运移的载体气体(CO₂、H₂S、CH₄)而快速运移的。“载体传输模型”核心理论是“气泡对流”理论,而地下气体以微气泡链的形式形成对流现象,并以较快速度进行传输运移。1993年G. Ciotoli等人在意大利中部城市锡耶纳Arbia断裂上进行了地下注气实验^[16],模拟了这一现象的形成过程,并对不同裂隙宽度的气体运移速度进行了理论计算,结果认为:气泡对流运移速度为10⁰~10³ m/d,如果在裂隙为厘米级的断裂高渗透带,运移速度可达10⁴ m/d^[17]。这一研究结论对我们解释此次异常现象提供了重要理论依据,进一步证明地震后短时间内Rn、Hg、CO₂便可出现成组的高异常。甘肃省清水县流量井中也出现过类似的气体快速运移现象^[18]。

4 结论

(1) 调查结果表明,地窖所处的地下断裂中断层气

Rn、Hg、CO₂、He、SO₂在地震后大量释放,CO₂、SO₂酸性气体营造了弱酸性环境,改变了此处偏碱性环境。

(2) 地窖宏观异常现象是由于地窖中潮湿温热弱酸性的环境为真菌生长繁殖创造了有利条件。一般真菌宜于在潮湿温热偏酸性弱光环境下生长,木桩也为真菌提供了良好的腐生环境。当真菌成熟后释放白色孢粉,因为孢粉微小可以随气流悬浮在空气中,凝聚达到一定量后落下,形成白色粉末。当真菌源源不断的释放孢粉时,人们误认为是白色烟雾不断的从窖口冒出。

(3) 地窖可能位于断裂带附近,地震后有大量的断层气体释放,地窖与震中的连线与烈度分布图长轴方向基本重合,很可能显示该地窖就位于发震断层上。

(4) 本次宏观异常及落实结果显示,该点具有灵敏的断层活动响应,可作为今后开展余震追踪、断层活动及未来甘东南地震趋势预测判定的断层土壤气监测点进行长期监测。

参考文献(References)

- [1] Aue J J, Park J, Rye D M. Regional Metamorphic Dehydration and Seismic Hazard[J]. Geophysical Research Letters, 1998,25(22).
- [2] 赵慈平,冉华,陈坤华.由相对地热梯度推断的腾冲火山区现存岩浆囊[J].岩石学报,2006,22(6):1517-1528.
ZHAO Ci-ping, RAN Hua, CHEN Kun-hua. Present-day Magma Chambers in Tengchong Volcano Area Inferred from Relative Geothermal Gradient[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(6):1517-1528. (in Chinese)
- [3] 赵慈平.腾冲火山区现代幔源氦释放特征及深部岩浆活动[D].中国地震局地质研究所,2008.
ZHAO Ci-ping. Mantle-derived Helium Release Characteristics and Deep Magma Chamber Activities of Present Day in the Tengchong Volcanic Area[D]. China Seismological Bureau of Geological Institute, 2008. (in Chinese)
- [4] 强祖基,孔令昌,王弋平,等.地球放气、热红外异常与地震活动[J].科学通报,1992,37(24):2259-2262.
QIANG Zu-ji, KONG Ling-chang, WANG Yi-ping, et al. Earth Breathing, Thermal Infrared Anomaly and Seismic Activity[J]. Chinese Science Bulletin, 1992, 37(24):2259-2262. (in Chinese)
- [5] 强祖基,徐秀登,侯常恭.卫星热红外异常-临震前兆[J].科学通报,1990,35(17):1324-1327.
QIANG Zu-ji, XU Deng-xiu, LIN Chang-gong. The Earthquake Precursors of the Satellite Thermal Infrared Anomaly [J]. Chinese Science Bulletin, 1990, 35(17):1324-1327. (in Chinese)
- [6] Kaplay R D, Panaskar D B, Rakhe A M. Gas Emanations and Subterranean Sounds Microearthquakes in Marathwada. Maharashtra, India[J]. Current Science, 1996, 71(12):954-957.
- [7] Srivasta S K, Dangwal M, Bhattachary A, et al. Satellite Data Reveals Pre-earthquake Thermal Anomalies in Killari Area, Maharashtra[J]. Current Science, 1997, 72(11):880-884.
- [8] De Leeuw G A M, Hilton D R, Gule C N, et al. Regional and Temporal Variations in CO₂/He, ³He/⁴He and δ¹³C along the North Anatolian Faultzone Turkey[J]. Appl Geochem 2010, 25: 524-539.
- [9] 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, CHENG Zhi, et al. Advance Review of Seismic Geochemistry[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2012, 31(4):340-346. (in Chinese)
- [10] 张慧,张新基,苏鹤军.强震水氡前兆场异常特征及其物理解释[J].西北地震学报,2005,27(3):228-232.
ZHANG Hui, ZHANG Xin-ji, SU He-jun. Anomaly Characteristics of Radon Precursory Fields in Groundwater before Strong Earthquakes and Their Physical Explanation[J]. Northwestern Seismological Journal, 2005, 27(3):228-232. (in Chinese)
- [11] 赵振荣,张慧,苏鹤军.玛曲断裂带土壤气汞、氡地球化学特征[J].西北地震学报,2011,33(4):376-379.
ZHAO Zhen-sheng, ZHANG Hui, SU He-jun. The Geochemical Features of Mercury and Radon in Maqu Active Fault[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(4):376-379.
- [12] Irwin W P, Barnes I. Tectonic Relations of Carbon-dioxide Discharges and Earthquakes[J]. Journal of Geophysical Research, 1980, 85(B6):3115-3121.
- [13] 上官志冠.地热流体溶解CO₂总量参数的地震前兆特征[J].科学通报,1995,40(9): 814-817.
SHANGGUAN Zhi-guan. Seismic Precursory Characteristics of Total Dissolved CO₂ Parameters In Geothermal Fluid[J]. Chinese Science Bulletin, 1995, 40(9): 814-817. (in Chinese)
- [14] Reimer G M. Use of Soil-gas Helium Concentrations for Earthquake Prediction: Limitations Imposed by Diurnal Variation[J]. J Geophys Res, 1980, 85(B6):3107-3114.
- [15] G Etiope. Migration of Carrier and Trace Gases in the Geosphere: An Overview [J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 2002, 129:185-204.
- [16] 方银霞,初凤友.硫酸盐-甲烷界面与甲烷通量及下伏天然气水合物赋存的关系[J].海洋学研究,2007, 25(11): 1-9.
FANG Yin-xia, Chu Feng-you. The Relationship of Sulfate-methane Interface with the Methane Flux and the Underlying Gas Hydrate[J]. Journal of Marine Sciences, 2007, 25(11): 1-9. (in Chinese)
- [17] G Ciotoli, G Etiope. Migration of Gas Injected into A Fault in Low-permeability Ground[J]. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 2005, 38: 305-320.
- [18] 苏鹤军,张慧,史杰.地下气体运移机理及清水流量井水变蓝现象的解释[J].西北地震学报,2009, 31(3):237-241.
SU He-jun, ZHANG Hui, SHI Jie. Transport Mechanism of Underground Gas and Explain to Phenomenon of Blue-water at Qingshui Well in Gansu[J]. Northwestern Seismological Journal, 2009, 31(3):237-241. (in Chinese)