

## 红外传感器用于断层气体测量<sup>\*</sup>

朱 旭 王子影 张 宇

(中国地震局地壳应力研究所,北京 100085)

**摘 要** 介绍新型红外气体观测仪的结构、主要技术指标、优缺点以及解决其不足之处的方法;通过分析红外气体观测仪在台站试验中取得的观测数据,探索出一种将红外气体传感技术应用于断层气观测的新方法。

**关键词** 红外传感器;断层气;二氧化碳;甲烷;地震前兆

**中图分类号**:P315.61

**文献标识码**:A

### APPLICATION OF INFRARED SENSOR IN MEASURING GAS FROM FAULT ZONES

Zhu Xu, Wang Ziyang and Zhang Yu

(*Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085*)

**Abstract** The advantages of infrared sensing technology in measuring gas from fault zones, the structure of the instrument, the technical performance, and the ways for overcoming its disadvantages are discussed. Through analyzing the observations with infrared gas instrument at experiment station, a new infrared instrument for measuring gas from fault zones is explored.

**Key words**:infrared sensor; gas from fault zones; Carbon Dioxide; Methane; earthquake precursor

## 1 引言

地球内部存在着巨量的气体。地壳的一些薄弱部位,如断裂带、火山、洋脊地带,则是地下气体集中逸出带。在大陆上,地壳排气现象常见于断裂带上,特别是在活动的深大断裂带上<sup>[1]</sup>。这种与断层活动有关的从断层散发出来的气体称为断层气。它包括从断层逸出到上方土壤中形成的气晕和沿断层分布的泉水、地下水中多种逸出气、溶解气<sup>[2]</sup>。断层气体监测作为捕捉地震前兆的一个重要手段,在地震短期预测中能够发挥重要作用。

苏联自1966年塔什干地震之后开展了这方面的研究工作。他们在中亚、远东等地建立了试验场,开展了多种组分的观测和研究,并取得了几次较好

的震例;日本自1973年在东海、伊豆半岛等地布设观测点,获得了1978年伊豆半岛7.0级地震和1995年阪神7.2级地震水化变化的震例;1998年,Ciotoli等<sup>[3]</sup>在意大利富希纳盆地进行的断层气探测结果表明,在1915年曾发生过7.0级地震的断裂带上同步显示出He、CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>的异常峰值。

1976年,唐山7.8级地震前,在天津棉4井观测到二氧化碳日总量出现异常增高<sup>[4]</sup>,地震后,在发震断裂上进行了CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>探测,测线布设在唐山市以南的郑家庄和礼尚庄,均跨越地震破裂带,探测结果表明,无论CO<sub>2</sub>还是H<sub>2</sub>,在测线的跨断层地段上,都很明显地表现出高值异常<sup>[1]</sup>;1993年,王基

\* 收稿日期:2011-04-24

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务专项资金(ZDJ2009-15)

作者简介:朱旭,男,1971年生,工程师,主要研究方向为地震前兆观测技术。E-mail: zhuxu1000@sohu.com

华等<sup>[5]</sup>在北京昌平白浮断层气观测点进行了 CO<sub>2</sub>、Hg、O<sub>2</sub> 的观测,研究了这些气体的动态特征与地温的关系;林元武等<sup>[6]</sup>研究了断层气 CO<sub>2</sub> 快速测定方法,分析了7年怀来郝窑断层气 CO<sub>2</sub> 观测点测得的9个4级以上地震的 CO<sub>2</sub> 前兆异常特征,在张北地震前47天,断层气 CO<sub>2</sub> 出现突升异常,异常峰值是背景值的10倍左右,据此在震前提出了较好的短临预报意见,充分表明断层气在地震短期预测中能够发挥重要作用<sup>[7-9]</sup>。

一直以来,主要利用快速测定管和气相色谱仪进行断层气体测试分析;二氧化碳气体快速测定管是一次性使用的,每天更换一次,人工读取测量值,只能测量累积量,不能实时测量被测井孔的气体百分比浓度。受测量方法限制,难以精确测量井下气体浓度梯度;气相色谱仪属于精密的实验室仪器,需要用采集装置获取气样,再放到仪器上进行分析测试。很难实时测量井下气体浓度分布。因此研制灵敏度高、稳定性强、简便易行、适合地震前兆气体组分测量的仪器就显得十分重要。

2 新型红外气体观测仪

实验表明红外气体传感技术在断层气测量方面有独特的优势,非常适合用于断层气体观测和气体前兆监测领域。

虽然红外气体传感器具有很多优点,但地震前兆观测需要积累长期的数据,这要求观测设备可以长期、稳定、连续地提供数据。进行断层气监测时,需要解决红外传感器的抗干扰性、零点漂移、集气方法、现场标定、以及监测群体异常问题。

为此,根据前兆气体组分测量的要求,我们研制了新型数字化红外气体观测仪器。仪器由集气系统、电子学模块、数据总线和主机组成(图1)。

流量,流量控制在200~600 mL/分钟。此种集气方式属于主动集气方式。在条件允许的情况下,尽量采用主动方式采集气样。扩散方式将传感器置于被测气体的扩散通道中。采用扩散集气方法时需要监测扩散通道中的气体流量变化,既要防止流量过低影响响应时间,造成读数错误,又要防止大流量对传感器的冲击,造成测量偏差。

2.2 光学和电子学模块

红外气体传感器的光学部分用一个钨丝灯作为宽带红外光源,发出的红外光通过两条光路照射在两个钽酸锂热电探测器上。一个称为“活动(ACT)”端探测器,另一个称为“参考端(REF)”探测器。气体的吸收强度与该气体的浓度有关,“活动”端探测器的滤波器对特定气体具有显著的吸收带,由于使用了不同的滤波器“参考端”探测器对特定气体不敏感。在两个钽酸锂热电探测器表面上热量的变化转换为电压信号。当光辐射通过特定气体时,从活动端输出的电压峰峰值幅度比从参考端输出的大。通过测量探测器输出电压信号峰峰值的比,就可以知道周围目标气体浓度的变化,称为比值测量原理。在热电探测器前安装不同波长的滤波器对相应气体的浓度进行测量。

传感器的电子线路部分由带通放大电路、模/数转换器、小型半导体温度传感器、低功耗单片机组成。在单片机控制下分别测量 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 两种气体浓度,每120 s 输出一次测量值。单片机还同时采集温度传感器的数据进行温度补偿,通过运行在单片机内的数据采集、温度补偿、数据预处理和通信软件的运行,输出的测值是实时的体积比浓度数字量值。

2.3 减小零点漂移的方法

地震前兆观测需要积累长期的数据,这要求观测设备可以长期、稳定、连续地提供数据。针对影响传感器稳定性的因素,在传感器的软硬件设计中需解决零点漂移问题。

实测表明“活动”端和“参考端”探测器输出的电压波形相位角有同步抖动性现象,抖动和随机干扰导致零点漂移,也就是当被检测气体中未含有目标气体时,显示值不为零值。为此在电路设计中选用了转换时间短的模/数转换器,使对“活动”端和“参考端”的电压采样尽量相同,减小了抖动的影响,此外加入数字滤波去除了随机干扰产生的漂移。

2.4 干扰及抗干扰措施

红外传感器需要安装在测井内,由井上通过电缆提供供电电源,并将热电探测器的输出信号传输到井上。从观测现场的实测波形我们发现,传感器

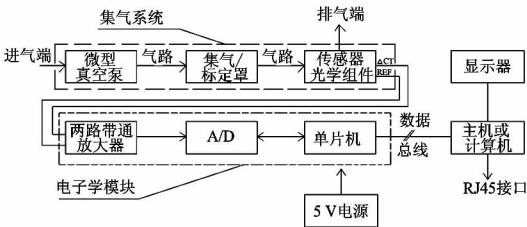


图1 仪器结构  
Fig.1 Structure of the instrument

2.1 集气系统

集气装置由微型真空泵、集气/标定罩、和气体管路组成,从进气端到出气端的气路是气密的,在采集气样时开启采样泵,送到传感器的气流具有稳定

输出的信号中除 4 Hz 外,还有高频频率分量,这是由于加载到灯丝上的电压是 4 Hz 、占空比 50% 的方波。通过灯丝热惰性的作用,在热电探测器上形成波浪波(ripple)。红外辐射通过光路,照射在钽酸锂晶体上,由于热梯度的变化,产生电压输出。所以这些频率分量中大部分是 4Hz 基波的谐波,另一些是谐波和外界干扰产生的。

为此,将红外气体观测仪分为传感器和主机两部分,工作时,主机启动测量指令,传感器通过总线电缆向主机发送数据,在电缆上传输的是数字信号,因此具有可靠、抗干扰性好的特点,解决了断层气监测时的抗干扰性问题。主机也可以由计算机代替,编制的测控软件可以在通用的计算机上运行。

传感器具有现场标定功能,将传感器与计算机连接,在标定软件的支持下即可进行现场标定。只需标定零点和满量程点,很适合在野外进行现场标定。

2.5 主要技术指标及与传统观测装置的对比

RS-1 型红外气体观测仪是针对断层气体测量领域研制的新型数字式红外二氧化碳和甲烷气体观测仪器。主要技术指标如下:

1) 量程

二氧化碳(CO<sub>2</sub>):0 ~ 2% 体积比浓度和 0 ~ 5% 体积比浓度量程之间自动切换;甲烷(CH<sub>4</sub>): 0 ~ 5% 体积比浓度和 0 ~ 10% 体积比浓度量程之间自动切换;

2) 分辨力:量程的 2% ;

3) 工作温度范围: -10℃ ~ +50℃ ;

4) 工作模式

监测模式下采样率:每小时自动启动泵 1 次,工作 5 分钟,处理电路 2 秒采集 1 次数据;观测模式下采样率:泵连续工作,处理电路 2 秒采集 1 次数据;

5) 供电

通信电缆 3 m 时:5 V,2 W;通信电缆 60 m 时:12 V,0.4 A;

6) 主机:专用主机或通用微型计算机,专用主机功耗 5 W;

7) 标定:通过运行在微型计算机的标定软件支持下可以进行现场标定;

8) 体积:直径 70 mm ,长 600 mm ;

9) 重量:小于 2 kg。

红外断层气体传感器相对于目前普遍使用的二氧化碳测量管、气相色谱仪,具有独特的优点:

1) 抗干扰性好,可以在富含水蒸气的环境中工作;

2) 寿命长(高达 5 年);

3) 数字传感器具有在线测量能力,可以实时测量井下气体的浓度梯度;

4) 体积较小、功耗低、工作温度范围宽,适于流动观测;

5) 检测能力强,解决了二氧化碳测量管只能测量累积量的缺陷,其最小检出浓度在百万分之几百,虽然不如气相色谱仪,但其量程和分辨力指标适用于断层气体检测(表 1)。

表 1 观测装置对比  
Tab.1 Comparison among some equipments

	检测能力	体积	工作温度范围	功耗	在线自动测量	载气
红外传感器	体积比浓度 最小分辨力 CO <sub>2</sub> :0.04% CH <sub>4</sub> :0.1%	适中	-10℃ ~ +50℃	传感器:2W 主机:5W	是	不需要
二氧化碳测量管	累积量 5 000 ~ 100 000 mg/m <sup>3</sup>	小	-10℃ ~ +30℃	--	否,一次性使用	不需要
气相色谱仪	体积比浓度 最小检测浓度 达百万分之一	大	实验室环境温度	大于千瓦	否,取气样后送实验室检测	需要

3 井孔气体浓度探测

中国地震局地壳应力研究所昌平地震台西 6 # 孔井深 117.75 m,水位 46.7 m,井口至 17 m 处为铁管,以下为岩壁。采用主动集气方式。数字式红外气体传感器内部安装有集气系统,在主机应用软件的控制下用主动集气装置采集气样。在监测方式下,每小时开启一次采样泵,时间为 5 分钟,此种方式适合长期连续监测。在观测方式下,采样泵连续运转,观测方式适用于活动断层探测和井下气体浓度梯度测量分析。用钢丝绳将传感器吊放在井下,传感器进气端作为传感器零点,传感器末端连接四芯屏蔽电缆,与井上主机连接。将传感器放入井中的过程会对井中的气体产生扰动,尤其是对气体浓度梯度大的井,这种扰动更加明显,需要较长的时间来等待气体浓度趋于稳定。此外,传感器体积越小,移动时对井下气体的扰动越小,可以有效地缩短测量时间。

图 2 是西 6 # 孔井深度与气体百分比体积浓度曲线(测试时间 2010 年 5 月 14 日)。

根据观测数据可以得出如下结论:

1) CO<sub>2</sub> 气体浓度随深度增大,此井孔未检出

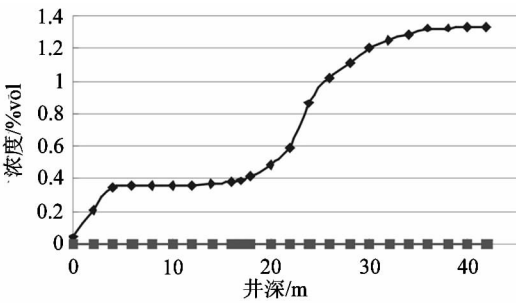


图 2 深度 - % vol 曲线  
Fig.2 Curve of depth - % volume

CH<sub>4</sub> 气体;

2)CO<sub>2</sub> 气体浓度曲线可以分为 4 段:

第一段:0 ~ 4 m, 气体浓度随井深急剧上升, 由于井口是敞开式, 在这一段测量受大气环境影响较显著。

第二段:4 ~ 12 m, 气体浓度基本不变, 考虑到这一段井壁被铁管封闭, 所以气体浓度分布均匀。

第三段:12 ~ 36 m, 气体浓度由缓慢增大到急剧增高再趋于平缓, 可见二氧化碳气体主要是由这一段中的岩壁裂隙中逸出的。气体浓度梯度大。

第四段:36 ~ 42 m, 气体浓度基本维持不变, 由于二氧化碳略重于空气, 气体在这一段沉积, 目前传感器固定于 36 m 进行长期连续监测。

传感器吊放于距井口 36 m 处进行了 60 天的连续观测, 发现二氧化碳浓度逐渐由 1.31% vol 上升到 1.75% vol。通过再次用标准气测试, 排除了仪器自身漂移的可能。表明 36 m 处二氧化碳气体浓度在逐步增高。

4 结语

针对断层气体测量的技术瓶颈, 引入红外气体传感技术, 实验证明了二氧化碳和甲烷红外气体传感技术在断层气测量方面的可行性。

通过发挥红外气体传感技术的优势, 克服其不足之处, 研制了新型数字化红外气体观测仪器, 并将其用于井孔气体浓度测量领域。实践证明, 应用红外气体传感技术克服了观测方法的局限性, 探索出新的断层气体观测思路和方法, 进而可望在活动断

层探测和利用断层气监测数据进行地震短期预测等方面发挥作用。

参 考 文 献

1 车用太, 等, 地震地下流体学[M]. 北京: 气象出版社, 2006. (Che Yongtai, et al. Underground fluids and earthquake[M]. Beijing: Meteorological Press, 2006)

2 陈万春. 地震断层气监测的现状与展望[J]. 四川地震, 1996, 2:56 - 61. (Chen Wanchun. The presents and prospects about the monitoring of seismic fault product gas[J]. Sichuan Earthquake, 1996, 2:56 - 61)

3 Ciotoli G, et al. Soil gas survey for tracing seismogenic faults: A case-study in the Fucino Basin[J]. J Geophys Res. , 1998, 103(B10):23 781 - 23 794.

4 张国民, 等. 地震预报引论[M]. 北京: 科学出版社, 2001. (Zhang Guomin, et al. Introduction to earthquake prediction[M]. Beijing: Science Press, 2001)

5 国家地震局地质研究所. 首都圈地区 1993 年断层气监测及 1994 年震情趋势分析[M]. 北京: 地震出版社, 1993. (Institute of Geology, CEA. Fault gas monitoring in 1993 and trend analysis of seismicity in 1994 in capital region [M]. Beijing: Earthquake Press, 1993)

6 林元武, 王基华, 高松升. 断层气 CO<sub>2</sub> 测定新方法 with 张北-尚义 6.2 级地震预报[J]. 地震, 1998, 18(4):353 - 357. (Lin Yuanwu, Wang Jihua and Gao Songsheng. A new measurement method for CO<sub>2</sub> in fault gas and prediction of Zhangbei-Shangyi M6.2 earthquake[J]. Earthquake, 1998, 18(4):353 - 357)

7 殷世林. 断层逸出气 CO<sub>2</sub> 的有感小震前兆异常及预报意义[J]. 防灾减灾工程学报, 2003, 9:77 - 79. (Ying Shilin. Precursory abnormalities of gas CO<sub>2</sub> escaped from faults before human-felt-small-earthquakes and its significance in earthquake prediction [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2003, 9:77 - 79)

8 Sugisaki R. Changing He/Ar and N<sub>2</sub>/Ar ratios of fault air may be earthquake precursors[J]. Nature, 1978, 275:5 677 - 5 678.

9 朱旭, 陈俊峰. 红外气体传感器的数据处理[J]. 自动化仪表, 2007, 4:57 - 60. (Zhu Xu and Chen Junfeng. Research on data analyses for infrared gas sensor[J]. Automation Instrumentation, 2007, 4:57 - 60)