

数字化二氧化碳观测仪的研制和观测^{*}

任 佳¹, 张晓刚², 王长江², 邢 杰², 樊春燕³, 符泽宇¹, 王 妍¹, 李 金¹

(1. 河北省地震局 唐山中心台, 河北 唐山 063000; 2. 河北省地震局 张家口中心台, 河北 张家口 075000;
3. 中国地震台网中心, 北京 100045)

摘要:介绍了新型数字化二氧化碳观测仪的工作原理和系统设计, 通过其在赤城地震台、后郝窑水化观测站和阳原地震台试验观测, 证明了二氧化碳红外气体传感技术在二氧化碳断层气和溶解气测量方面的可行性。试验结果表明, 该仪器具有高灵敏度、高稳定性、网络化和智能化的特点, 不仅可用于台站断层逸出气、地下水溶解气中二氧化碳含量的观测, 在改变供电模式和通信模式的情况下可望在无人职守的二氧化碳观测台阵和活动断层探测等方面发挥作用。

关键词: 二氧化碳观测仪; 红外气体传感技术; 断层气; 溶解气

中图分类号: P315.62

文献标识码:

文章编号: 1000-0666(2013)04-0536-04

0 引言

在地下流体观测中, 二氧化碳在一些 $M_s \geq 4.0$ 地震之前有明显的异常反映, 尤其是在 $M_s \geq 5.0$ 地震前出现的异常非常显著。这些异常不仅表现出信噪比高, 而且多出现在震前半个月到一个半月内, 是典型的短临异常, 对破坏性地震的短临预报阶段发震时间的判定具有重要意义(鱼金子等, 1998; 王基华等, 2000; 上官志冠, 1995; 林元武等, 1998; 张启明, 2001; 车用太等, 1999; 胡凤英等, 2004)。

目前, 地震台站主要利用快速测定管(高小其等, 2002)和气相色谱仪(朱方保等, 2003)进行二氧化碳气体测试分析。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, 不能实时测量井孔的气体百分比浓度, 由于受测量方法限制, 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。因此开发研制数字化、智能化、网络化的二氧化碳观测仪器就显得十分必要。

数字化二氧化碳观测仪的研制项目组(以下简称项目组)在2011年开始开发研制二氧化碳观

测仪器, 分别在赤城地震台、后郝窑水化观测站和阳原地震台进行了试验观测。本文介绍了新型数字化二氧化碳观测仪的工作原理和系统设计, 通过试验观测, 证明二氧化碳红外气体传感技术在二氧化碳断层气和溶解气测量方面的可行性。

1 工作原理

数字化二氧化碳观测采用红外光谱吸收原理为(NDIR)(闻明, 张策, 2011): 二氧化碳的红外吸收光谱在波数在 $2\,342\text{ cm}^{-1}$ 处有强吸收峰。其吸收关系服从朗伯—比尔(Lambert-Beer)吸收定律, 出射光强度 I 、入射光强度 I_0 和气体体积分数 C 之间的关系为

$$I = I_0 \exp(-\varepsilon LC), \quad (1)$$

式中, ε 为摩尔吸光系数, C 为待测气体体积分数, L 为光和气体的作用长度(光路长度)。对式(1)进行变换得:

$$C = \frac{1}{\varepsilon L} \ln(I_0/I). \quad (2)$$

当摩尔吸光系数一定时, 通过检测出射光强度, 即可计算得到二氧化碳体积分数。由于不同气体分子结构不同, 其吸收峰位置也不同, 利用

^{*} 收稿日期: 2013-03-06.

基金项目: 河北省地震局2012年度地震科研基金重点项目资助.

波数为 $2\,342\text{ cm}^{-1}$ 的红外线作为光源检测二氧化碳体积分数，不易受到其他气体分子浓度的影响。

2 系统设计

新型数字化二氧化碳观测仪整机由二氧化碳传感器、温度传感器、温度采集控制单片机、工控机、RS232 信号传输电路、电压适配电路、显示屏、电瓶充电控制电路及仪器供电浪涌过压保护电路等组成，如图 1 所示。

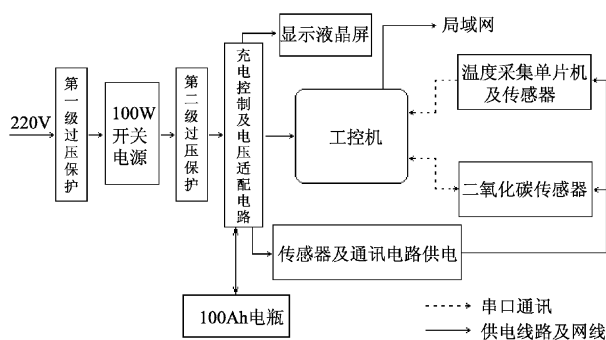


图 1 硬件设计图

Fig. 1 Hardware design

二氧化碳传感器采用双光束红外二氧化碳传感器，该传感器是将成熟的红外吸收气体检测技术与微型机械加工、精良电路设计紧密结合，制作出的小巧型红外气体传感器，该传感器具有温度补偿功能，无氧气依赖性，是一个通用型、智能型的微型传感器，它使用方便，广泛应用于存在二氧化碳气体的各种场合，具有性能稳定、精度高、寿命长、维护少、成本低等特点。温度传感器采用带数字输出的成品传感器，分辨率为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，温度采集控制采用 20C52 单片机，工控机采用台湾产桦汉高端嵌入式主板、3.5 寸主板双网卡工控机，安装 Windows XP 操作系统，辅以控制程序，完成数据采集、存储和通信，采数软件采用 VB 编程，具体流程见图 2。供电隔离电路由 12S09 型 DC/DC 模块和 LM7805 集成稳压块组成，输出稳定 5 V 电压作为传感器的工作电源，其波纹电压小于 1 mV ，稳压精度达到 0.1% ，传感器供电电路和传感器封装在一起。显示屏采用 $5\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ 液晶显示屏，实时显示系统时钟、观测数据及仪器重启过程中显示仪器 ID 号。系统供电电路采用工业级 100 W 成品开关电源，其输出的 14.5 V 电压作为供工控机和电瓶充电控制电源，电瓶充

电控制电源实现对电瓶恒流恒压充电和电瓶欠压保护。为了适应野外恶劣的工作环境，仪器设计了三级供电防浪涌过压保护电路，开关电源输入级使用 $10\text{ KA } 500\text{ V}$ 压敏电阻作为供电防浪涌过压保护的第一级，开关电源输出级使用 1.5 KPE20 瞬态二极管作为第二级保护，供电隔离电路的输出级使用 1.5 KPE12 瞬态二极管保护作为第三级。

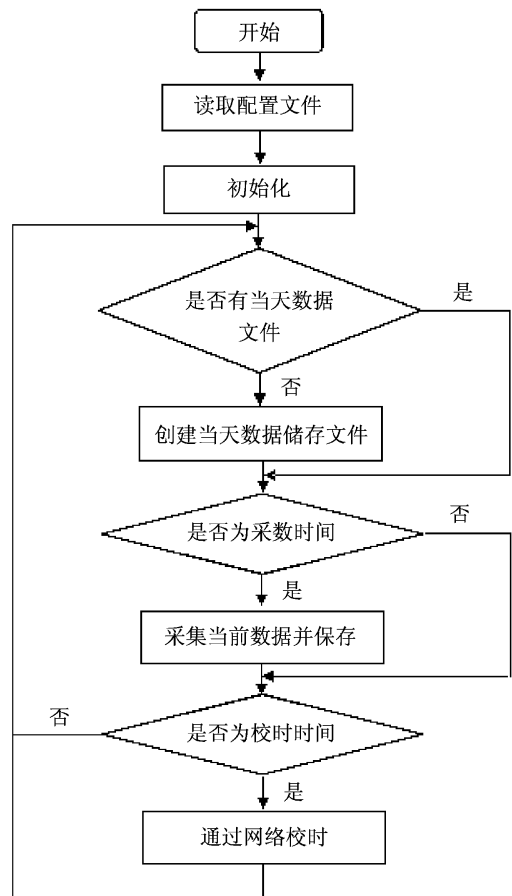


图 2 软件设计流程

Fig. 2 Software design flowchart

3 观测结果

3.1 断层气观测

将二氧化碳传感器置于室外断层土壤的集气装置中部，集气装置一般位于地表下深 $5\sim 10\text{ m}$ 的沙层中，主机安装在观测室内，传感器与主机用电缆线连接，其长度约 15 m ，采用台站“十五”网络协议通讯。

项目组分别在赤城地震台、阳原地震台、后郝窑水化观测站进行了试验观测。其中赤城地震

台于 2011 年 9 月 27 日开始试验观测, 截止 2013 年 2 月 28 日, 已正常运行 17 个月。图 3 为赤城台 2012 年 10 月 1~31 日的分钟值曲线, 图中可以看到曲线比较规律, 存在明显周期性变化。逐日扫描曲线, 发现部分曲线似有双峰双谷。

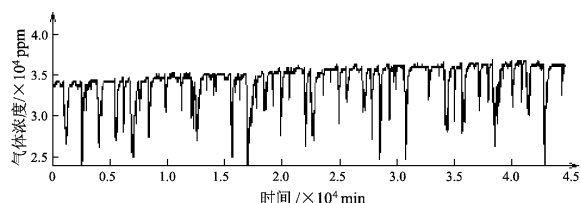


图 3 赤城台二氧化碳分钟值观测曲线
Fig. 3 The minute-value observational curve of carbon dioxide in Chicheng Station

3.2 溶解气观测

对于自流井可以采用溶解气观测, 气体采集采用脱气模式, 可以与现在台站 SD-3A 型自动测氦仪共用一个脱气系统, 将二氧化碳传感器串在 SD-3A 型自动测氦仪的气路中即可, 通讯与断层气观测模式相同。

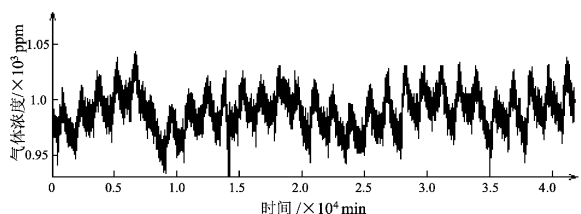


图 4 后郝窑水化观测站二氧化碳分钟值观测曲线
Fig. 4 The minute-value observational curve of carbon dioxide in Houhaoyao Hydration Observatory Station

项目组在后郝窑水化观测站进行了试验观测, 于 2012 年 1 月 1 日开始试验观测, 截止 2013 年 2 月 28 日, 已正常运行 14 个月。图 4 为后郝窑水化观测站二氧化碳分钟值观测曲线, 从图中可以看

到曲线规律, 测值稳定, 存在明显的日变形态。

4 结语

我们在试验期间得到了连续、稳定、可靠的数字化二氧化碳观测资料。实验证明了二氧化碳红外气体传感技术在二氧化碳断层气和溶解气测量方面的可行性。

项目组研制的新型的数字化二氧化碳观测仪具有高灵敏度、高稳定性、网络化和智能化的特点, 其观测精度和信息量远大于人工观测, 可替代目前台站的人工观测。该仪器不仅可用于台站断层逸出气、地下水溶解气中二氧化碳含量的观测, 在改变供电模式和通信模式的情况下, 可在无人值守的二氧化碳观测台阵和活动断层探测等方面发挥作用。

参考文献:

- 车用太, 鱼金子, 刘五洲. 1999. 地壳放气动态监测与张北—尚义 $M_s 6.2$ 地震预报[J]. 地质论评, 45(1): 59-65.
- 高小其, 王道, 许秋龙, 等. 2002. CO_2 快速测定方法的应用研究[J]. 内陆地震, 16(1): 76-83.
- 胡凤英, 谢健键, 王志敏, 等. 2004. 清丰水化站水中溶解气二氧化碳观测资料的研究[J]. 地震研究, 27(增刊): 43-47.
- 林元武, 刘五洲, 王基华, 等. 1998. 张北—尚义地震现场 CO_2 测量与震后趋势判断[J]. 地震地质, 20(2): 117-121.
- 上官志冠. 1995. 深源二氧化碳预报地震研究[J]. 地震地质, 17(3): 214-217.
- 王基华, 林元武, 高松升, 等. 2000. 1998 年怀来后郝窑断层气 CO_2 变化特征分析[J]. 西北地震学报, 22(1): 28-32.
- 闻明, 张策. 2011. 便携式二氧化碳检测仪的设计[J]. 传感器与微系统, 30(7): 95-96, 99.
- 鱼金子, 车用太, 刘五洲. 1998. 地壳中的 CO_2 及其释放与地震短临预测[J]. 国际地震动态, (8): 8-12.
- 张启明. 2001. 云南大理地区温泉 CO_2 释放与地震预报研究[J]. 地震研究, 24(3): 238-244.
- 朱方保, 李敏莉, 束克明, 等. 2003. SP-2304A 型气相色谱仪测定气体中注意的几个问题[J]. 地震地磁观测与研究, 24(5): 120-123.

Design of Digital Carbon Dioxide Observation Instrument and its Observation Application

REN Jia¹, ZHANG Xiao-gang², WANG Chang-jiang², XING Jie²,
FAN Chun-yan³, FU Ze-yu¹, WANG Yan¹, LI Jin¹

(1. Tangshan Central Seismic Station, Earthquake Administration of Hebei Province, Tangshan 063000, Hebei, China)

(2. Zhangjiakou Central Seismic Station, Earthquake Administration of Hebei Province, Zhangjiakou 075000, Hebei, China)

(3. China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China)

Abstract

The working principle and system design of the new digital carbon dioxide observation instrument is introduced. By the experimental observation at Chicheng Station, Houhaoyao Hydration Observatory Station, and Yangyuan Station, it proved that the application of carbon dioxide infrared gas sensor technology on the measurement of fault product and dissolved gases is feasible. The experimental results show that the digital carbon dioxide observation instrument has the characteristics of high sensitivity, high stability, networking and intelligent, which can be used not only in the measurement of the fault product and underground dissolved gases, but also carbon dioxide seismic array in the unattended duty and the detection of active faults under the situation of upgrading power supply and communication modes.

Key words: carbon dioxide observation instrument; infrared gas sensor technology; fault product gas; dissolved gas