

起卫罗, 余庆昆, 王 杰. D-3A 型智能数字测氡仪与 DDL-1 型智能数字测氡仪同步观测对比分析[J]. 华南地震, 2017, 37(S1): 88-93. [QI Weiluo, YU Qingkun, WANG Jie. A Comparative Analysis of the Synchronous Measurement of Radon Content with Two Types of Intelligent Digital Radon-detectors, SD-3A and DDL-1[J]. South China journal of seismology, 2017, 37(S1): 88-93.]

SD-3A 型智能数字测氡仪与 DDL-1 型智能数字测氡仪同步观测对比分析

起卫罗¹, 余庆昆¹, 王 杰²

(1. 云南省地震局, 昆明 650224; 2. 云南省地震局地震监测中心元谋地震台, 云南 元谋 651300)

摘要: 利用 SD-3A 型智能数字测氡仪与 DDL-1 型智能数字测氡仪同步观测实验, 从仪器的整体结构、工作原理、技术指标参数以及同步观测结果等方面进行对比, 认为两台仪器一致性比较好, 能够正确反映地下水中氡含量的真实变化。

关键词: SD-3A 型智能数字测氡仪; DDL-1 型智能数字测氡仪; 氡含量; 同步观测

中图分类号: P315.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2017) S1-0088-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2017.S1.014

A Comparative Analysis of the Synchronous Measurement of Radon Content with Two Types of Intelligent Digital Radon-detectors, SD-3A and DDL-1

QI Weiluo¹, YU Qingkun², WANG Jie³

(1. Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, China;

2. Yuanmou Seismic Station, Yuanmou 651300, China)

Abstract: This paper makes a comparison between two types of intelligent digital radon-detectors, SD-3A and DDL-1, from the following aspects: instrument structure, operational principles, technical indexes, performance parameters, etc. Then the paper carries out a synchronous measurement of the radon content in underground water with the two types of detectors, and gets approximate measured values which reflect the variation of radon content in underground water.

Keywords: SD-3A intelligent digital radon-detector; DDL-1 intelligent digital radon-detector; Radon content; synchronous observation

收稿日期: 2017-07-30

作者简介: 起卫罗(1970-), 男, 工程师, 现主要前兆流体测项仪器设备安装运维、资料分析等。

E-mail: 1656188589@qq.com.

0 引言

氡是天然放射性元素,是铀(^{238}U)系、钍(^{235}AC)系与钍(^{232}Th)系中镭的衰变产物^[1]。氡气具有很多独特的物理性质,表现出较强的映震效能^[2]。氡作为放射性气体元素,是地球深层信息的指示剂,它能从地下深部运移到地表,可反映地下介质状态的信息^[3]。氡观测的目的是为了能及时、准确的在地质构造发生变化时,通过氡的变化来反映其自然变化的动态^[4]。因此人们一直将其作为地震前兆监测的重要手段^[5-9]。我国的地下流体观测已经历了 30 多年的时间,随着氡观测技术^[7]的不断发展,观测仪器也不断更新换代。氡观测为地震监测预报、地震研究提供了连续、完整、准确、可靠的科学数据,促进了我国氡观测质量的提高和地震预测预报研究的发展^[8-10]。

中国地震局地震预测研究所研制的 SD-3A 型智能数字测氡仪,于“十五”期间,供全国地下流体监测台网使用。云南省专业台站于 2006 年安

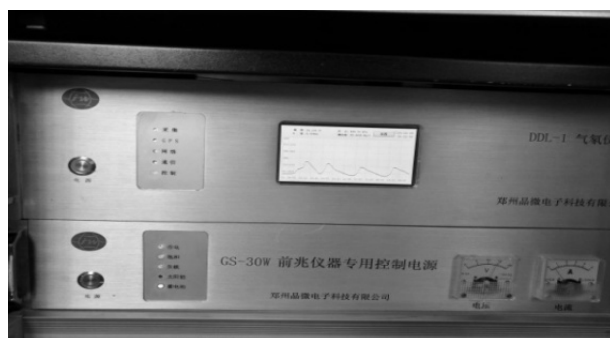
装的气氡仪器均为 SD-3A 型智能数字测氡仪进行观测,至今已连续观测十多年时间。为全面更换“十五”老化气氡仪,云南省地震局地震监测中心于 2016 年 12 月中旬,在云南省元谋地震台水化站新安装一台郑州晶微公司生产的 DDL-1 型智能数字测氡仪,与 SD-3A 型智能数字测氡仪进行同步观测实验。作者将对比观测实验结果进行了整理,并对两台不同型号测氡仪器的整体结构、工作原理、主要技术指标和参数,以及对比观测数据的一致性进行分析,认为两台测氡仪虽然在性能上存在一定差异,但仪器的数据一致性比较好,测值误差满足前兆观测规范要求,能正确反映地下水中氡含量的真实变化,可捕捉到地下水中氡含量变化的异常信息。

1 仪器概况

SD-3A 型智能数字测氡仪和 DDL-1 型智能数字测氡仪见图 1。



(a)



(b)

图 1 SD-3A 型智能数字测氡仪(a)和 DDL-1 型智能数字测氡仪(b)

Fig.1 Intelligent digital radon-detectors SD-3A (a) and DDL-1(b)

2 测氡仪工作原理

2.1 SD-3A 型智能数字测氡仪的工作原理

SD-3A 型智能数字测氡仪的工作原理为闪烁法原理。当氡气进入闪烁室后,氡衰变过程中产生的 α 粒子轰击闪烁室内 $\text{ZnS}(\text{Ag})$ 晶体,引起 $\text{ZnS}(\text{Ag})$ 原子激发而放出光子,此光子被光电倍增管接收后,在其光电阴极上产生光电子,完成光电转换。光电子受电场作用聚焦到光电倍增管打靶极上,激发出二次电子,最后二次电子被加速放大成电子流,在光电倍增管的负载电阻上形成脉冲电流,而输出脉冲电压。闪烁室内, α 粒子的数

目与氡气的浓度成正比,即与闪光的频率成正比,因此记录光电倍增管输出的脉冲频率也就可知闪烁室内的氡浓度。由于光电倍增管输出的脉冲幅度较小,且光电倍增管是高压输出内阻器件,要经前置放大器及极零相消电路,它将前放输出的后尾很长的脉冲成形为无反向突起,宽度为 $1\ \mu\text{s}$ 的尖脉冲。主放大器由两级电压并联负反馈组成主放大器,经甄别阈值滤除闪烁探头输出信号脉冲中非信号脉冲干扰。脉冲整形电路,将脉冲信号整形为同幅、同宽的方波,送往互补跟随驱动器,经电缆送入主机 CPU 计数器,测量结果存入不易失 RAM 数据区,10 位 LCD 可显示测量结果,打印机同时打印测量结果。其原理框图见图 2。

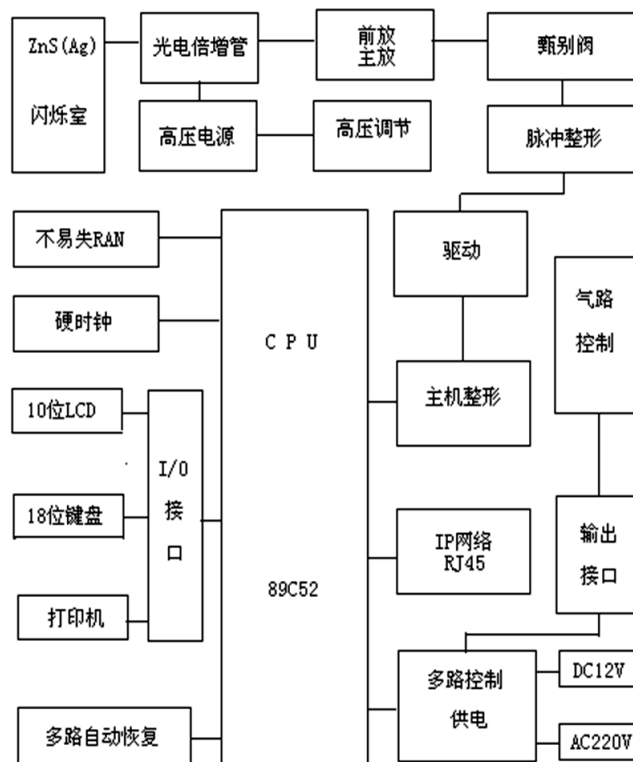


图2 SD-3A 型智能数字测氡仪的工作原理

Fig.2 Operational principle of intelligent digital radon-detector SD-3A

该测氡仪输出氡值公式：氡值=计数脉冲值 * 物理打印参数值，其中：

(1) 仪器 K 值计算公式：

$$K = \frac{Q}{N - N_0} \quad (1)$$

式(1)中， Q 为标准氡气源额定分配值； N 为标定计数(脉冲/分)； N_0 为本底计数(脉冲/分)；

(2) 仪器物理量打印参数计算：

$$\text{物理量打印参数} = \frac{K}{V \cdot e^{-\lambda t}} \quad (2)$$

式(2)中， K 为标定的 K 值； V 为闪烁室体积(0.37L)； λ 为氡衰变函数值(立即测量时为 1)；

2.2 DDL-1 型智能数字测氡仪的工作原理

DDL-1 型智能数字测氡仪的工作原理是电离法原理。利用氡气可将其周围介质电离，在一个圆桶形并有一定正电场的作用下将这些杂散离子形成向圆心流动的电离离子流，这些定向流动的离子流将在电离室中心的接收极上进行累积。在接收极上累积的离子数与电离室中氡气含量成正比关系，含量越高，其接收极上的累积离子流越多，其电离室中氡气的含量与观测井或断层气中的氡气浓度直接相关。地下水中的逸出气体或断

层土壤气连续从电离室的进气口进入，从电离室的出气口自然排空，进入的氡气将电离室内的气体电离，在电离室电压的作用下，电离室内被电离形成的电离离子流流向电离室中间的接收极，微离子流放大器的输入极将微弱的电离电流接收后经放大器放大，然后再经主放大器放大后进行模数转换，输出给主机进行数字表显示、存储和传输，达到了检测氡气的目的。其工作原理框图见图 3。

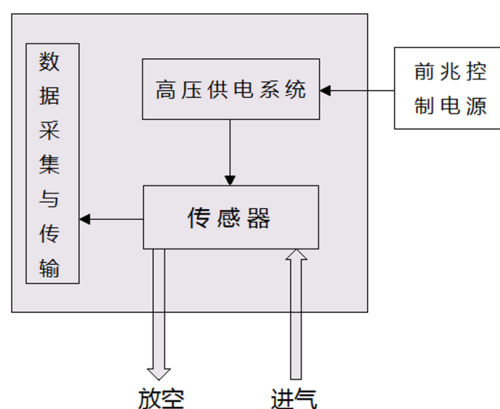


图3 DDL-1 型智能数字测氡仪的工作原理

Fig.3 Operational principle of intelligent digital radon-detector DDL-1

该测氡仪输出氡值公式：氡值=电压值 *K 值/电
离室体积，K 值=标准源浓度/电压值 * 电离室体积

3 测氡仪出厂时主要技术指标及参数对比

测氡仪的主要技术指标和参数能够反映该台
仪器性能优劣。两台仪器出厂时的主要技术指标

及参数对比见表 1。

由表 1 可以看出，SD-3A 型智能数字测氡仪
和 DDL-1 型智能数字测氡仪出厂时的各项技术
指标和参数要求标准大致相同，均执行中国地震
局招标技术指标标准，能满足地震系统地下流体
氡量测量要求，较之 SD-3A 型智能数字测氡仪，
DDL-1 型智能数字测氡仪采样率更高。

表 1 两种型号仪器出厂时的主要技术指标及参数
Table 1 Factory indexes and parameters of the two types of detectors

仪器型号	灵敏度	稳定度	采样率	运行环境温度	运行环境湿度	电源
SD-3A 型智能 数字测氡仪	>90 计数/分/L/Bq	<±5%(年)	1 次/h	0~45℃	≤80%	AC220V±10% DC12V 自动切换
DDL-1 型智能 数字测氡仪	0.05 Bq/L 在 ≥0.5 Bq/L 时 最大误差 ≤7%	<±10%(年)	1 次/min	0~50℃	≤80%	C220V±10% DC12V

4 观测数据对比分析

4.1 观测系统

SD-3A 型智能数字测氡仪和 DDL-1 型智能数
字测氡仪在同一间观测室进行同步对比观测，观测
室条件严格按照地震水文地球化学观测技术规范要
求^[4]，共用一个脱、集气装置，仪器连接见图 4。

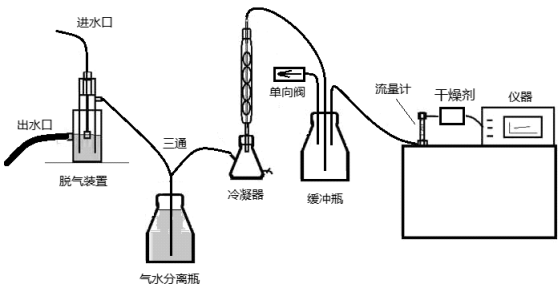


图 4 SD-3A 型智能数字测氡仪和 DDL-1 型智能数字
测氡仪脱、集气装置

Fig.4 Gas-collecting device and Gas-stripping device of the
two types of detectors

4.2 数据分析

两台仪器从同一集气瓶内抽气进行并联同步
观测，经过 5 个月的对比观测，观测曲线见图 5。
由图 5 可见：

(1) 经过 1 月至 3 月对观测系统调试，从 4
月份后 (红色框区域)数据逐渐趋于稳定，表明
SD-3A 型智能数字测氡仪和 DDL-1 型智能数字测

氡仪 对同一气样的氡含量观测结果有较好一致性和
相似性。元谋水化站温泉的水氡背景值在 100
Bq/L 左右，两套仪器的气氡测值是水氡测值的 2~
3 倍，这是因为气氡观测是水中溶解氡和逸出氡的
综合，且逸出氡较溶解氡要多，故气氡观测值较
水氡观测值高^[12]。由此说明两台测氡仪的测值偏差
满足前兆观测规范允许范围，两套仪器的一致性和
同步性比较好，能正确反映地下水中氡含量的
真实变化。

(2) 从仪器整体设计上，SD-3A 型测氡仪是
以 CPU89C52 为控制的单片机系统对氡进行全自
动测量、打印、显示、传输的智能化设备，电路
组成部分比较复杂，集成度不高。通讯单元采用
PC104 工控机与单片机系统通过串口进行通讯。该
仪器已连续工作十多年，在高氡值的观测站，闪
烁室普遍污染严重 (从每年度的检查、标定即可测
到)，PC104 工控机故障率高，容易造成通讯不畅；
DDL-1 型智能数字测氡仪采用了国际上最先进的
技术，即连续自动的电离法气氡仪，具有本底污
染小的特点。主要元器件采用美国生产的芯片，
整机实现了模块化、小型化，数字化输出，实时
化显示，数据存储长达一年。传感器与主机分开
最大距离为 200 m，解决了台站观测中井房与观测
室分离的问题，能有效避免气路干扰。性能稳定、
操作简单、易于维护，测定数据自动完成。该仪
器的通讯及人机交互采用目前较流行的 ARM 框架
设计，操作系统采用 LINUX，较 PC104 工控机的
Win98 更稳定。

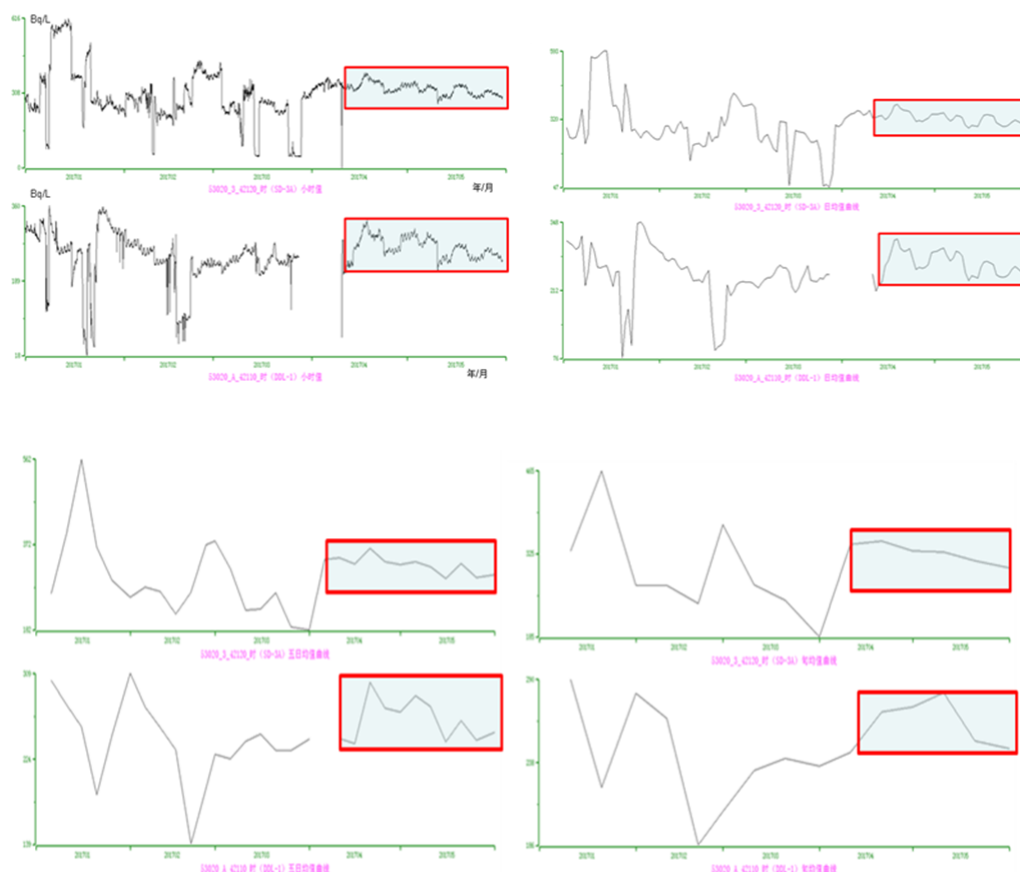


图5 SD-3A型智能数字测氡仪和DDL-1型智能数字测氡仪测值对比图

Fig.5 Correlation curves of the measured radon-values by SD-3A and DDL-1 detectors

(3) 由于SD-3A型智能数字测氡仪仪器厂家已经倒闭,没有维修板件和元器件,维修仪器无保障。DDL-1型智能数字测氡仪仪器厂家维修服务响应很快,发现问题能及时处理(从图5记录曲线看,4月初该仪器出现故障,从上报故障到处理完成仅用一周的时间,而且是从该测点将仪器返厂维修)。

5 结论

用SD-3A型智能数字测氡仪与DDL-1型智能数字测氡仪对元谋水化站温泉气氡进行为期近半年的同步对比观测实验,得到以下认识。

(1) 从仪器整体设计上,DDL-1型智能数字测氡仪较SD-3A型测氡仪更科学、更先进。仪器性能稳定,操作更简单,便于维修。该仪器的通讯及人机交互功能更方便。

(2) 两台仪器的校准均采用采用标准物质传递法进行校准(标定),均采用固体氡源作为校准(标定)源,校准(标定)方法基本相同。只是DDL-

1型智能数字测氡仪的智能化更高一些。

(3) DDL-1型智能数字测氡仪厂家维修服务响应很快,发现问题能及时处理,售后服务有保障。

(4) 从仪器出厂技术指标可见,DDL-1型智能数字测氡仪应该可以作为SD-3A型智能数字测氡仪更新替代仪器。

(5) 从观测数据上,两套仪器的一致性和同步性比较好,满足前兆观测规范要求,能够正确反映地下水中氡含量的真实变化,捕捉到地下水中氡含量变化的异常信息。

(6) 该结果可供地下流体学科相关工作人员参考,也为台站气氡观测仪器选型提供参考。

参考文献:

- [1] 张昱,刘小凤,常千军,等.地震前兆水氡同步异常变化及其预测意义探讨[J].地震研究,2010,33(3):253-258.
- [2] 崔勇,许秋龙,张学敏,等. CD-L1型流气式固体氡源替换RN-150型氡源的研究[J].地震地磁观测与研究,2008,29(2):80-85.

- [3] 刘菁华,王祝文,田钢,等.均匀覆盖层中氦迁移的数值模拟[J].地球物理学报,2007,50(3):921-925.
- [4] 刘学领,马建英,程立刚,等.水氦观测样品脱气温度及观测时间的选取 [J].地震地磁观测与研究,2008,29(2):55-58.
- [5] 汪成民,车用太,万迪坤,等.地下水微动态研究[M].北京:地震出版社,1988.
- [6] 王吉易,董守玉,陈建民,等.地下流体地震预报方法[M].北京:地震出版社,1997.
- [7] 车用太,孔令昌,陈华静,等.地下流体数字化观测技术[M].北京:地震出版社,2002.
- [8] 张伟,王吉易,鄂秀满,等.水文地球化学预报地震的原来和方法[M].北京:教育科学出版社,1988.
- [9] 国家地震局科技监测司.水文地球化学地震前兆观测与预报[M].北京:地震出版社,1992.
- [10] 国家地震局预测预防司.地下流体地震预报方法[M].北京:地震出版社,1997.
- [11] 国家地震局.地震水文地球化学观测技术规范 [M].北京:地震出版社,1985.
- [12] 武建华,刑玉安,朱自强,等.数字化测逸出氦替代模拟测水氦的理论与实践[J].地震,2002,22(4):101-105.