

JSZ-2型间歇/连续数字式自动测氡仪*

李正蒙 李彤起 杨管德**

(国家地震局兰州地震研究所)

摘要

本文描述了一种可用于试验研究地震前兆，观测地下水氡气浓度连续变化的设备——JSZ-2型自动测氡仪。它由玻璃质连续脱气装置，时间程序自动控制装置，闪烁脉冲计数装置和数字重复记录装置构成。仪器可进行间歇或连续观测，最高可测氡浓度1000埃曼，误差 $\leq \pm 10\%$ ，观测结果和时间同时打印表出。水流量 $Q_{\text{水}}=2.0 \text{ 升/分}$ ，气流量 $Q_{\text{气}}=200-450 \text{ 毫升/分}$ ，灵敏度 $\sim 800 \text{ 脉冲/分/埃曼}$ ，响应度 $< 5 \text{ 分钟}$ ，脱气效率 $\sim 50\%$ 。通过各种条件性能试验，该仪器与国内外类似连续测氡仪相比，具有直观性好，灵敏度高，准确可靠，操作简便等特点；尤其是玻璃式脱气装置更具有抗腐蚀、易清洗、成本低等优点。基本上满足当前地震区氡气观测工作的要求。

前言

近年来为了试验研究地震前兆，观测地下水氡含量变化，在国内研制成自动测氡仪的有：河北省地震局的连续测氡仪，261厂和天津市地震局的FD-128型自动水氡测量仪，上海原子核研究所的 γ 法连续测氡装置等^[1]。国外苏联在1966年塔什干地震后采用了连续测氡装置^[2-4]；日本1975年4月后在多摩川、伊豆、东海等地开始应用连续测氡装置^[5-7]；美国1975年4月后在圣安德烈斯断层带上也开始使用 γ 谱法连续监测水氡装置^[8]。然而这些仪器各有不足之处，如灵敏度低，稳定性差，精度不高，操作繁杂，价格昂贵等。为此，我们在原有基础上，吸取了同类仪器的优点，经过多次设计，反复试验，于1976年研制成了JSZ-2型自动测氡仪(图1)。先后在兰州五泉山(冷泉)和广州从化(温泉)进行过仪器性能条件试验；1976年8月四川松潘地震后投入现场考验；并参加过1977年8月宁夏固原定向爆破水氡连续观测。

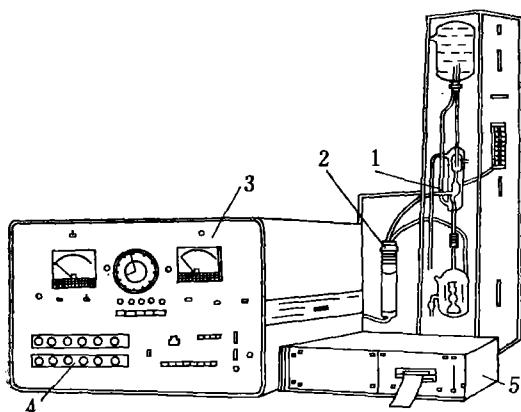


图1 JSZ-2型间歇/连续数字式自动测氡仪示意图

1.连续自动脱氡装置 2.闪烁探头 3.时间程序自动控制装置 4.脉冲计数装置 5.数字打印机

* 1978年11月27日收到。

** 赵家骝同志对仪器电路设计给予了帮助；黄书兴、龙明同志参加了部分试验工作，在此表示感谢。

一、JSZ-2型自动测氯仪工作原理

JSZ-2型自动测氢仪工作原理见图2:

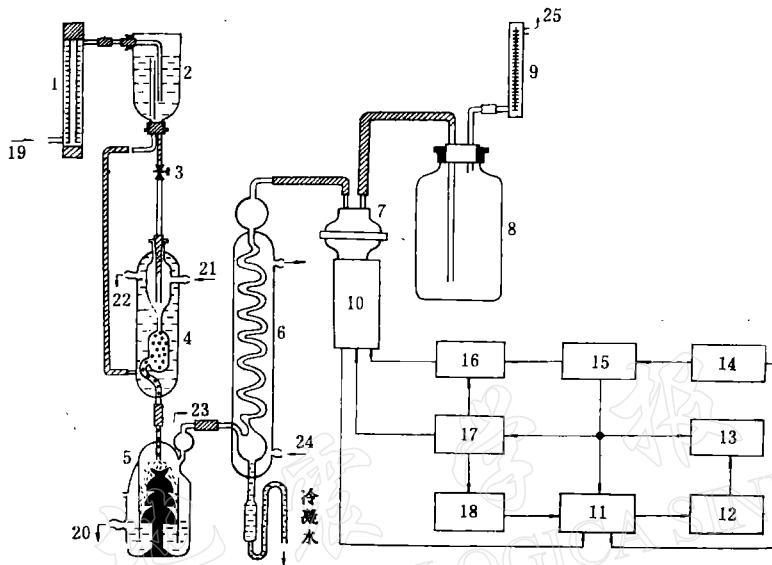


图 2 JSZ-2 型间歇/连续数字式自动测氮仪工作原理示意图

- ① 水流计 ② 进水恒压器 ③ 调节阀门 ④ 自动脱氯器 ⑤ 气水分离器 ⑥ 冷凝器 ⑦ 闪烁室 ⑧ 气流缓冲器 ⑨ 气流计 ⑩ 探头 ⑪ 自动定标器 ⑫ 信息转换器 ⑬ 数字打印机 ⑭ 时间程序控制器 ⑮ 交流电子稳压电源 ⑯ 高压稳定电源 ⑰ 低压稳定电源 ⑱ 重复打印控制器 ⑲ 进水口 ⑳ 排水口 ㉑ 空气 ㉒ 多余水出口 ㉓ 氯气 ㉔ 冷却水 ㉕ 出气口

当地下水由井孔泉点专门管道经水流计①流入进水恒压器②后，在一定的静压力下喷入自动脱氯器④，其流量大小用阀门③调节。为了保持脱气时不受外界温度变化影响，恒压器中多余水可导入自动脱氯器恒温水套从②流出。脱出大部分氯气混同水往下冲入气水分离器⑥氯气再次脱出并与水分开。此时，脱出的氯气从上部⑧以一定流速压出，而脱氯残水则从下部⑨排水口流出。由于脱出氯气中带有水汽，故先经冷凝器⑩，再进入闪烁室⑪。氯射气与内壁硫化锌闪烁晶体作用产生光子，经探头⑫转换成电脉冲信号。但由于该信号比较微弱，脉冲幅度和宽度亦不均匀，且易受各种非信号脉冲和环境因素（如温度）干扰影响，故输入自动定标器⑬先经放大、鉴别、整形，然后被自动定时计数。其脉冲数值再经信息转换器⑭，最后输入数字打印机⑮将结果记录下来。全部观测过程（开机—预热—测量—停机）由时间程序控制器⑯自动进行，观测人员从打印机上取出记录纸条即可了解氯浓度的变化情况。仪器所需的交流、直流高低压稳压电源由⑰、⑱、⑲供给。整套仪器由四部分构成，分述如下：

1. 时间自动程序控制装置 由间歇时间信号钟(或石英钟), 琴键开关, 电磁继电器, 时间继电器, 电子交流稳压器, 高低压直流稳压电源, 指示灯等线路组成。当信号钟的时针每走到整小时, 由于接触其上铜片, 通过继电器将交流电源接入(时信号按 1、5、7、11;

2、10；3、9；4、8；和6、12编组分接到琴键开关上，以获得不同时间间隔）。若为石英钟，则每小时输出一方波信号，触发驱动单稳延时可控硅开关（延时时间5—12分钟，可调），而将交流电源接入。随后使多回路时间继电器运转，并接通稳压电源，开机预热，定时计数，重复打印和停机休息的程序自动进行。

2. 自动连续脱气装置 为了将氯气从地下水中连续不断地脱出，我们根据降低压力，鼓泡搅动，增加比表面积以减小溶解度之原理，采用二次脱气方法，自动连续进行。整套脱气装置主要由进水恒压器，自动脱氯器，气水分离器组成（图3）。其工作过程为，地下水自井孔泉点（承压水头高于地面1.5米）以一定流速经液流计进入恒压器②，当液面达到一定高度时，在恒定静水压力下冲入自动脱氯器④，此与水泵相似，水在负压下喷雾，产生大量气泡，回转翻动，氯气被脱出。随后连水带泡继续注入气水分离器⑤，由于体积突然变大，水流下冲至宝塔分散淋漱，氯气进一步脱出，从上部管道以一定流速经冷凝器⑥进入闪烁室⑦，而残水则从下部密封水套排水口⑧流出。为使气流平稳，在闪烁室后联结有缓冲器⑨，其气流速度可从气流计⑩上读出。

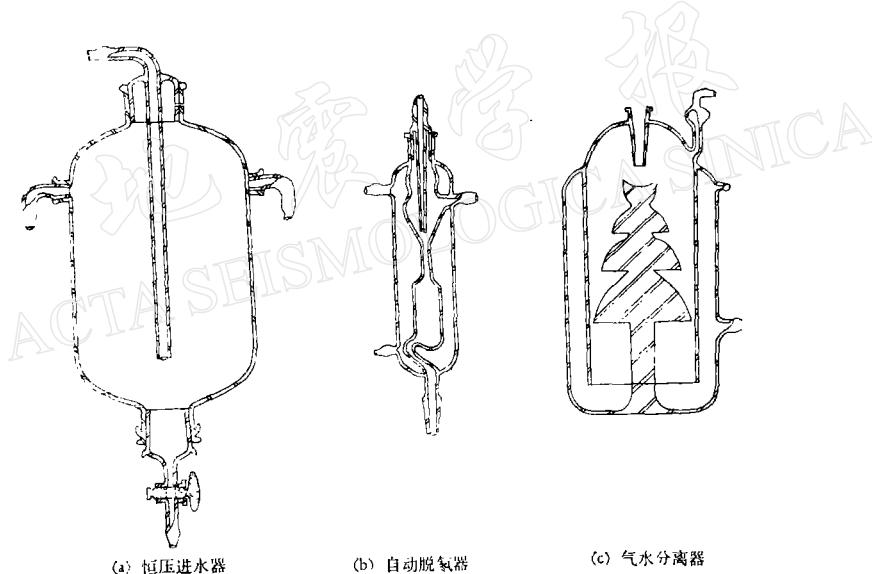


图3 自动连续脱气装置示意图

自动测氯仪的关键部分在于脱气装置，由于观测水中氯浓度的变化，是建立在闪烁室中氯射气及其子体动态平衡基础上的。因此脱气效率大小，计数率值高低，响应速度快慢，稳定性好坏等各种基本参数对于判别地震前兆异常关系极大。这些必须根据观测井孔泉点情况（冷水或热水及氯气浓度之大小）和其他实际条件经过实验选择而定。

3. 脉冲计数装置 由环形闪烁室、探头脉冲放大鉴别整形器，自动定标器和高电压直流稳压电源等组成。由于地下水中的氯气经脱气装置不断流经闪烁室，内壁硫化锌晶体与氯气作用，激发闪光而放出光子，再经光电倍增管转换后输出一负脉冲。因该脉冲频率与氯射气浓度成正比，故脉冲信号经过放大鉴别整形后，乃被定标器自动定时计数，根据记录的脉冲频率即可测得氯气浓度。

4. 自动打印记录装置 由脉冲信息转换器，重复打印控制器，时间信号钟和数字打印

机组成。由于脉冲计数值不能直接输出打印,故经倒相转换后接入打印机,当计数刚结束,定时分频信号一路作打印指令,即可将数字结果打印在记录纸条上。另一路经单稳延时线路,使定标器数字管还原归零,再行计数,重复打印。与此同时,由定时钟给出时间信号也被打印记录下来。

仪器主要技术指标为:

1. 测量范围: 计数容量为 1—999999 脉冲, 最高可测 1000 埃曼, 其误差 $<\pm 10\%$ 。
2. 仪器可进行间歇和连续观测。平时一般用间歇工作, 共分 1、2、3 和 6 小时四档, 即仪器每隔 1 小时(或 2、3、6 小时)自动测量一次, 需时约十分钟, 然后停机休息。当有震情时, 则用连续工作。
3. 水氡测量结果由数字打印机自动记录下来, 脉冲定时计数分 1' 和 2' 两档。间歇观测时每次可重复打印 3—5 个数据。连续观测时每 1 小时可打印约 50 个数据。观测时间亦被同时打印, 中途停机可从记录纸上查出。
4. 脱气装置为玻璃质二次自动连续式, 其基本参数为:

水流流量 $Q_w = 2.0$ 升/分; 气流流量 $Q_a = 200—450$ 毫升/分; 灵敏度 ~ 800 脉冲/分/埃曼; 响应度 <5 分钟; 脱气效率 $\sim 50\%$ 。

二、自动测氡仪性能和条件试验

1. 气流速度问题 气流速度大小直接影响计数率, 试验结果表明其间呈反比关系(图 4)。气流速度可通过改变自动脱氡器和气水分离器之间距离和在闪烁室出口用螺旋夹或另用玻璃水泵抽出等办法来调节。气流速度太快不利于水氡值瞬时变化探测, 而易漏去突跳异常; 气流速度太慢则影响探测灵敏度, 或子体污染闪烁室而不利于分辨异常。若闪烁室体积为 500 毫升, 调节气流速度为 420 毫升/分(气流计指示为 60 格), 使脱出之氡气流经闪烁室的时间在 1.5 分钟左右效率较佳。

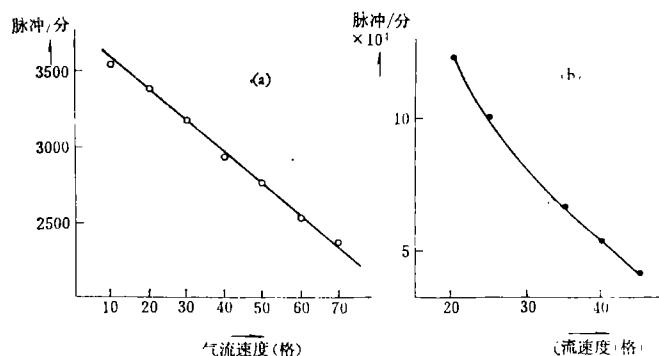


图 4 气流速度与计数率值关系

(a) 冷泉 (~ 3 埃曼) 试验结果 (b) 温泉 (~ 65 埃曼) 试验结果

2. 仪器灵敏度问题 即在脱气装置各基本参数固定不变的条件下, 一方面探测效率要高, 另一方面当水中氡气浓度有变化时计数响应速度要快, 其试验结果如表 1 和图 5

表 1 国内外一些自动测氡仪灵敏度对比情况

仪器型号	计数率(脉冲/分)		灵敏度(脉冲/分/埃曼)	
	冷 水	热 水	冷 水	热 水
JSZ-2	2427	56904	809	875
FD-128	1159	28000	386	430
日本	1100		366	
苏联		9600		240

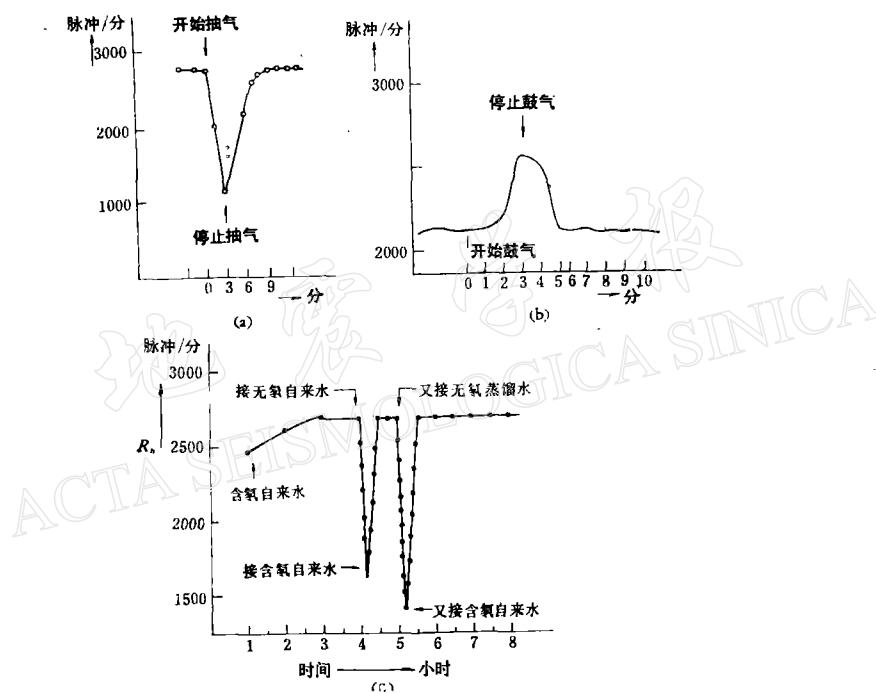


图 5 仪器灵敏度试验结果

(a)——抽去氡射气试验 (b)——鼓入镭标准源试验 (c)——无氧水计数实验结果

所示。

从上面可以看出, JSZ-2 型仪比同类型自动测氡仪的计数率为高;另外当闪烁室中氡气浓度有变化时(一是断开闪烁室用玻璃水泵抽去氡气,二是从脱气室的进气嘴鼓入氡射气,三是通入无氡水或含氡量微少的水后)在 5—10 分钟内脉冲计数变化非常明显。如当接入放置一月之久的自来水后,脉冲计数值在 8 分钟内由 2713 脉冲/分,降至 1811 脉冲/分,变化幅度达 33% 左右;当接入蒸馏水后,脉冲计数值在 10 分钟内从 2713 脉冲/分降至 1417 脉冲/分,变化幅度为 45% 左右。实际上地下水氡浓度的突变在几小时或数十小时以内,故仪器在连续工作下是可以观测到的。

3. 仪器稳定性问题 此为自动测氡仪最重要的问题, 它主要取决于自动脱气装置。若脱气过程不稳定, 即便脱气效率很高, 测试记录非常精密准确, 其观测所得数据资料也

表 2 仪器稳定性试验结果

测定次数	氡值测定结果, 埃曼(用 FD-125 型仪)		脱气效率 η%
	进水口	出水口	
1	67.2	32.9	51.0
2	65.2	30.1	53.8
3	62.4	30.6	50.9
4	62.7	30.0	52.1
5	65.1	33.2	49.0
6	63.6	31.1	51.1
7	60.7	27.9	54.0
8	63.4	30.7	51.5
9	63.7	32.7	48.7
10	62.2	29.5	52.5
11	63.8	34.5	46.4
12	65.6	34.0	48.2
13	63.5	30.0	52.8
14	68.1	36.4	46.6
15	63.7	33.3	47.7
平均值			50.4

毫无用处。因它不能真实地反映地下水氡浓度的变化情况。该仪器试验结果见表 2。

从上表可看出,多次对比测定(在同一时间分别于进水口和出水口用扩散瓶取样和 FD-125 型仪测试),其脱气效率均在 $50 \pm 5\%$ 允许变化范围内,故可认为脱气性能是基本稳定的。

4. 脱气装置高度问题 现用脱气装置总高度为 150 厘米,从进水恒压器液面至气水分离器液面相距为 135 厘米。经试验证实,自动脱气器与前二者距离尤为重要。为了提高气流速度,可以加大至气水分离器间距,但又不能太大,否则喷水压力不足,并使气流不稳,一般固定在 40 厘米为宜。进水恒压器液面可允许在 10 厘米内变化,对脱气和计数无影响,但有一基本高度,这些均由吹制的脱气装置的规格性能决定,现用的为 65 厘米。

5. 氡子体污染问题 仪器经一个半月连续工作,在结束时,我们切断脱气源,用玻璃水泵将闪烁室中氡射气子体排除抽去,其结果见图 6。

从图 6 可以看出,氡射气子体是可以排除的,闪烁室亦无多大污染(抽气 24 小时后计

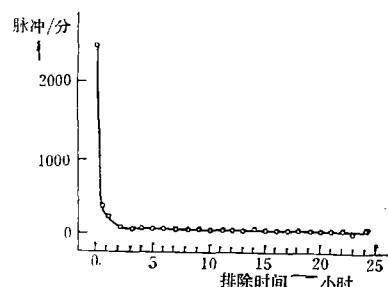


图 6 闪烁室氡射气子体污染排除试验

数<30脉冲/分),而且不需专门真空抽气设备.

三、自动测氡仪地震现场观测结果

(1) 1976年8月16—23日四川松潘7.2级地震后,为了监视预报余震和甘川交界地区震情发展趋势,将仪器安装在文县城关公社元茨头泉,于8月28日—10月16日进行了水氡连续自动化观测.在此期间于松潘震区共发生16次有感地震,其中 $M_s > 5.0$ 级的一次,3—4级的15次.结果见图7.

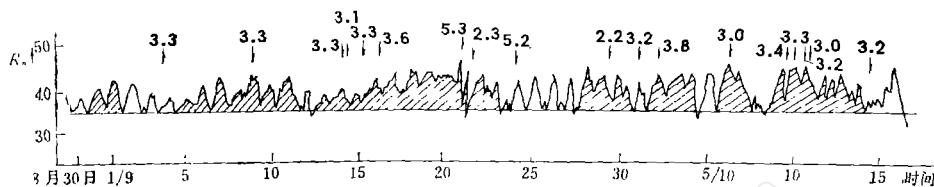


图7 松潘余震期文县元茨头泉水氡浓度连续观测图

(2) 宁夏固原县王洼公社兴修水库,于1977年8月30日进行160吨硝铵炸药的大型定向爆破.为了探讨地下岩层受爆炸力与地下水氡浓度变化的关系,我们在固原北海子井泉安装自动测氡仪,进行了爆破前后氡含量的连续观测,同时记录气温的变化(图8).从图中看出,氡含量的变化幅度高达20%以上(由2750脉冲/分上升到3389脉冲/分).

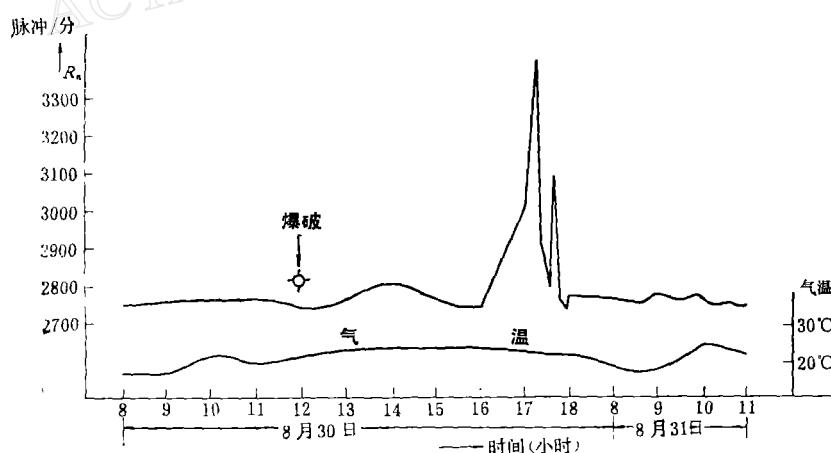


图8 固原北海子泉水氡连续观测图

结 束 语

JSZ-2型自动测氡仪具有下述一些特点:直观性好(氡脱气过程全可看见,若出现不正常现象可及时发现排除);灵敏度高(氡射气进入闪烁室在动态平衡下,若水中氡浓度变

化,数分钟内计数值即有反应);准确可靠(消除了人工单点取样观测引入的各种主客观误差,外界条件干扰因素相对减小。脱气稳定,能反应氡浓度连续变化,观测数据资料质量保证);操作简便(仪器掌握容易,安装调节方便,脱气装置用水量小,经校正好后,无需再行调节,不要人员日夜值班);抗腐蚀(玻璃比金属化学性能稳定);易清洗(喷水口,脱气嘴不易堵塞,若有沉积垢物,用稀盐酸即可除去);成本低(全套玻璃脱气装置用费不超过300元)。但是也存在一些问题,如玻璃脱气装置怕震易碎,全套仪器体积较大,搬运费事。现场观测要求工作条件较多(需在井孔泉点设专门观测室,要~220V交流供电,要有2米以上水头等)。

参 考 文 献

- [1] 天津市地震局地震处、北京市地震队,地下水与地震,地震出版社,1976。
- [2] В. И. Уломов, Ташкентское землетрясение 26, апреля 1966 года, Ташкент, 182—220, 1971.
- [3] К. М. Мирзоев и др., Поиски предвестников землетрясений, Изд-во «ФАН» УзССР, Ташкент, 248, 1976.
- [4] Г. А. Мавлянов и др., Гидрогеохимические особенности некоторых сейсмоактивных зон средней Азии, Изд-во «ФАН» УзССР, Ташкент, 1977.
- [5] 脇田宏等,多摩川下流域の地盤隆起と地下水中のラドン濃度の変化,地殻,第二輯,**29**,1,71—81,1976。
- [6] Masayasu Noguchi and Hiroshi Wakita, A method for continuous measurement of radon in groundwater for earthquake prediction, *J. G. R.*, **82**, 8, 1353—1357, 1977.
- [7] 脇田宏、野津憲治,伊豆半島中部,東海地方における地下水中のラドン濃度測定,地震予知連絡会会報, **17**, 33,80,1977。
- [8] A. R. Smith, et al., Investigation of Radon-222 in subsurface water as an earthquake predictor, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, **NS-23**, 1, 694—698, 1976.

TYPE JSZ-2 INTERMITTENT/CONTINUOUS DIGITAL AND AUTOMATIC RADON MEASURING INSTRUMENT

LI ZHENG-MENG LI TONG-QI YANG GUAN-DE

(*Lanzhou Earthquake Research Institute State Seismological Bureau*)

Abstract

An automatic radon measuring instrument type JSZ-2 for observing the continuous change of radon concentration of underground water in the search of earthquake precursors is described in this paper. It consists of four essential portions, namely, (1) continuous degassing device made of glass; (2) automatic programming controller of timing; (3) scintillation impulse counter; (4) digital repeated recorder.

The set can be used to record intermittently or continuously for radon content of underground water, maximum 1,000 Emans, with errors $\pm 10\%$. The quantity of water flow $Q_{\text{water}}=2.0$ liters/minute and of gas flow $Q_{\text{gas}}=200-450$ milli-liters/minute. Sensitivity is about 800 impulses/minute/Eman., response, less than 5 minutes, efficiency of degasification about 50%.

Under various conditions, this instrument has been subjected to tests for its actual performance. It can be said that in comparison with instruments of similar nature, made both in China and abroad, this instrument has the characters of better direct viewing, higher sensitivity and reliability, ease of operation, etc. Particularly, the glass degassing device has the advantage of anti-corrosion, ease of cleaning and low cost. The instrument can essentially meet the requirements of Radon observation in earthquake areas.