

数字化测氡的实验研究^{*}

吴永信, 陈兰庆, 李彤起

(中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:采用流通式氡气源模拟实际流程,对数字化测氡的各个环节以及仪器标定方法进行了实验研究.发现计数率随气体流量的升高而降低,并用氡气在闪烁室中的通过时间予以解释.指出对测氡仪器必须进行标定,而且必须用流通式氡气源来标定;在观测中应控制或测定进入闪烁室的气体流量.最后对闪烁室的放射性污染进行了理论分析.

关键词:氡气测量;数字化测氡;实验研究

中图分类号: O659.21 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2001)01-0060-06

0 引言

随着数字化台网的建设,数字化测氡台网相继诞生.然而人们对人工取样观测比较熟悉,对数字化观测还知之甚少,对于观测中各个环节的操作、影响因素、干扰排除、异常判定及仪器标定等都有待于深入的研究.本文介绍了对这些问题进行实验研究的一些初步结果.

1 数字化测氡与人工取样测氡工作流程的比较

数字化测氡中探头部分和人工取样测氡一样采用了闪烁计数法.其原理都是氡原子在闪烁室中发生衰变,所放出的 α 粒子轰击在硫化锌闪烁体上,发出萤光,通过光电倍增管转换成电脉冲信号,由计数器计数^①.不同的是在人工取样观测中氡射气进入闪烁室后,封存静置等待放射性平衡后再计数;而在数字化测氡中采用了流通方式,即含氡的气体源源不断地从闪烁室中流过,采集器定时采集数据的方式.

在人工取样观测中氡射气进入闪烁室后要静置1小时,也就是氡在闪烁室中要停留1小时以上;而在数字化测氡中,采用流通计数的方式,因而氡射气在闪烁室中停留的时间很短.在人工取样观测中,从取样到计数要经过较长的时间,氡会因衰变而减少,最后要根据衰变时间利用衰变函数计算出取样时的氡值;而在数字化观测中不需要这个过程.在人工取样观测中,氡射气进入闪烁室后,由于衰变产生子体,子体也发生衰变,这样就有子体的增长和消亡,也就是所谓放射性平衡问题;而在数字化测氡中,氡射气流经闪烁室的途中,一部分发生衰变将子体留在闪烁室中,大部分随气流流出了闪烁室,母体和子体发生分离.虽然接着有母体补入,但其平衡的本质不同于人工取样观测中的平衡.

收稿日期: 2000-07-17

^{*} 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2000057

作者简介: 吴永信(1951—),男(汉族),甘肃秦安人,高级工程师,现从事地下流体预报地震和地下流体观测技术研究.

① 王长岭,唐丰年,杨玉荣.地下水含氡量观测与地震预报探索.1982.

对于人工取样观测仪器已经有了一套完整的检查和标定技术, 为观测资料的可靠性提供了技术保证. 但这一套技术完全不适用于数字化测氡仪器的检查和标定. 目前, 还没有数字化测氡仪器的标定方法.

2 实验装置及流程的设计

实验的目的是: (1) 研究数字化测氡各个环节对测量结果的影响, 寻找观测中应当注意的问题; (2) 研究影响观测结果的主要因素和提高观测质量的方法和途径, 为资料使用和地震分析预报提供依据; (3) 研究仪器标定的方法及其有关问题, 包括标定的必要性、可行性和标定方法.

经过反复的实验, 最后确定放射源用流通式氡气源, 采用如图1所示的装置和流程来模拟实际观测. 如果把放射源做为观测对象, 则实验过程和观测过程一样. 若放射源的强度已知, 则实验过程就是标定过程.

用不同流量的空气做载气, 将流通式氡气源中 ^{226}Ra 瞬时产生的氡射气带进闪烁室, 同时计数. 流通式氡气源每分钟产生的氡气的量可由其DPM计算得出 (镭的 $\text{DPM} = 2.22 \times 10^6 \times n \mu\text{Ci}$)^②.

图1中各种设备的位置不能调换, 特别是流量控制不能放在其它位置. 在真空泵和闪烁室之间用三通管分流, 避免不同流量时闪烁室内的负压程度不一样. 用2个螺旋夹来控制流量. 流量控制由高到低依次降低, 并在每个流量下计数10 min, 再换算成脉冲/min. 由高流量到低流量的次序不能颠倒, 否则会产生放射性污染而影响后面的观测结果. 由于闪烁室有一定体积, 具有一定的缓冲作用, 所以每调节一次流量, 都要等待1~2 min, 以使该流量在闪烁室中完全被调整. 在流量稳定下来以后再计数. 限于流量计的测量精度, 流量调节有一定的误差, 因此其脉冲计数也存在一定偏差. 特别是高流量时误差更大, 但不影响总的变化趋势.

3 实验结果及分析

在试验中使用放射性强度为 $3.25 \mu\text{Ci}$ 的流通式氡气源. 第一次使用前以每分钟近1 L的流量抽1 h; 放置一夜再使用前抽40 min; 放置2~3 h再使用前抽20~30 min. 流量值为浮子流量计的格值, 80相当于498 mL/min, 100相当于664 mL/min. 共进行了9次实验, 结果见表1. 由表1可见, 流量越高计数率越低.

以上实验中使用了同一个闪烁室. 为验证闪烁室有没有被先进入的氡衰变的子体污染而影响了后面的计数率, 对不同流量采用不同的闪烁室进行观测, 结果见表2. 由表2可见, 虽然使用了不同的闪烁室, 但同样显示了流量越高计数率越低的结果.

以上实验结果虽然十分一致, 但采用了泵抽的办法, 势必对闪烁室造成一定程度的负压, 会不会对观测结果产生影响, 是需要进行研究的. 为此改用氮气做载气从源的后面将放射源中的氡气推入闪烁室的办法进行实验, 结果见表3. 由表3可见, 流量与计数率的关系与上述2种

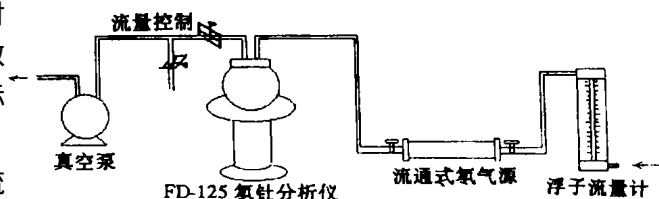


图1 实验装置及流程示意图

Fig. 1 Experimental devices and flow chart.

② Pylon Electronics Development Company, Ltd of Canada, Pylon Model RN-1025 Flow Through Randon Gas Source.

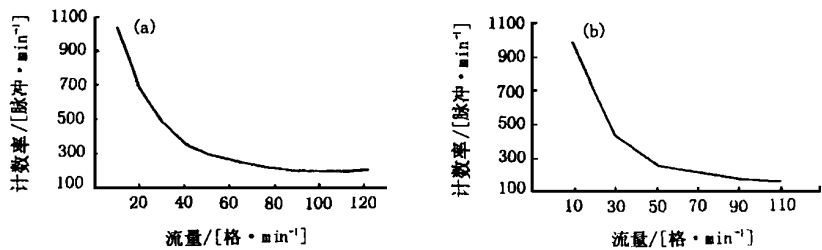
实验相同,说明实验结果是可靠的,在数字化测氡中确实存在计数率随气体流量升高而降低的问题.

表 1 不同流量下的测试结果

序号	计数率/[脉冲·min ⁻¹]											
	10 格/min	20 格/min	30 格/min	40 格/min	50 格/min	60 格/min	70 格/min	80 格/min	90 格/min	100 格/min	110 格/min	120 格/min
1	—	703	525	390	330	292	173	225	209	186	—	—
2	1 097	720	524	412	352	304	258	240	237	216	—	—
3	1 110	707	534	414	336	303	284	256	252	208	225	216
4	1 090	724	512	410	342	307	272	259	257	222	216	196
5	1 035	696	493	362	311	261	230	221	197	194	192	201
6	1 092	719	526	427	356	335	280	256	238	247	226	195
7	1 098	752	557	452	412	354	344	316	359	270	228	211
8	1 098	690	515	411	355	321	293	267	264	245	243	219
9	1 069	710	482	394	328	287	245	242	232	226	217	211

表 2 对于不同的流量分别用 K 值接近的不同闪烁室测试的结果

闪烁室号	底数	流量	脉冲计数		闪烁室的 K 值
	脉冲/min	格/min	脉冲/10 min	脉冲/min	
656	5	110	1 576	158	0.008 03
648	9	90	1 718	172	0.007 83
649	8	70	2 088	209	0.007 91
384	2	50	2 536	254	0.007 71
383	2	30	4 341	434	0.007 92
381	4	10	9 813	981	0.007 75



(a) 使用同一个闪烁室; (b) 使用不同的闪烁室
图 2 计数率与流量的关系

Fig. 2 Relation between count rate and gas flow.

K 值的计算有 2 种方法: 算法 1 是在控制气体流量保持恒定的情况下, 先将流通式氦气源每分钟产生的氦射气除以流量换算成氦浓度, 再除以脉冲/min; 算法 2 是不控制流量, 用流通式氦气源每分钟产生的氦值直接除以脉冲/min. 具体使用哪一种方法要根据具体情况来定. 以表 1 中第 5 组数据为例, 用 2 种方法分别进行计算, 结果见表 4, 其变化趋势如图 3 所示.

表 3 用氦气做载气的测试结果

闪烁室号	流量/[格·min ⁻¹]	计数率/[脉冲·min ⁻¹]
656	110	109
648	100	133
649	80	158
384	60	249
383	40	347
381	20	609
383	10	835

在系统装置固定不变时, 流量改变的实质是流速的改变, 而流速决定了氦射气留在闪烁室中时间的长短. 如前所述, 数字化测氡过程中氦射气只是流经闪烁室, 从进入到流出闪烁室, 只有那些发生 α 衰变的氦原子才能被记录下

来,但并不是所有的氦原子在此期间都能发生衰变.显然,流量越低,气体在闪烁室中停留的时间就越长,发生衰变的氦原子数就越多,计数率就越高;反之流量越高,流速就越大,气体在闪烁室中停留的时间就越短,发生衰变的氦原子数就越少,许多氦原子还来不及衰变就已经流出了闪烁室,所以计数率就越低.

表 4 用 2 种方法计算的 K 值

流量		K 值		流量		K 值	
格/min	L/min	算法 1	算法 2	格/min	L/min	算法 1	算法 2
10	0.044	19.929 5	0.976 9	70	0.406	9.719 3	3.946 0
20	0.072	18.111 2	1.306 4	80	0.498	8.246 5	4.106 7
30	0.110	16.735 9	1.841 0	90	0.587	7.848 5	4.607 1
40	0.158	15.868 1	2.507 2	100	0.665	7.035 0	4.678 3
50	0.226	12.912 8	2.918 3	110	0.733	6.448 9	4.727 0
60	0.315	11.039 2	3.477 4	120	0.792	5.701 2	4.515 4

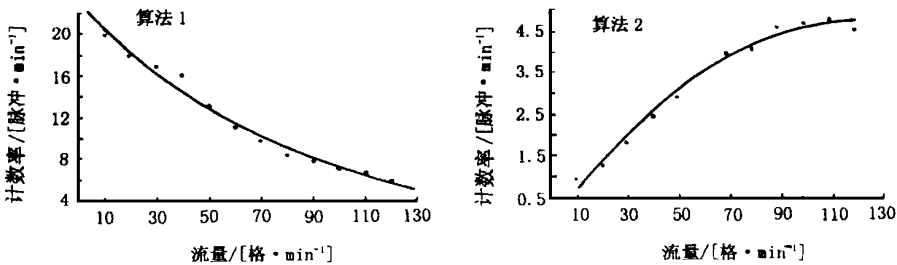


图 3 仪器 K 值随流量的变化

Fig. 3 The K values of instrument at difference gas flow.

为了定量地说明问题,将氦射气从进入闪烁室到流出闪烁室所用的时间称做通过时间,用 T 表示,单位为 min. 闪烁室的容积 $V=0.5\text{ L}$,当流量 $Q=0.5\text{ L}$ 时闪烁室内的气体在 1 min 内全部换新.也就是说,当流量 $Q=0.5\text{ L/min}$ 时,通过时间 $T=1\text{ min}$;当 $Q=0.25\text{ L/min}$ 时, $T=2\text{ min}$;当 $Q=0.125\text{ L/min}$ 时, $T=4\text{ min}$. 依次类推,可得出通过时间 T 的计算公式:

$$T=\frac{V}{Q}$$

式中: V 为闪烁室的容积,单位为 L; Q 为流量,单位为 L/min.

表 5 是根据实验中使用的浮子流量计出厂时提供的格值曲线计算的通过时间 T . 由表 5 可见,通过时间 T 随流量的升高而减小.对照图 2 和图 4 可以看出,通过时间与流量的关系和计数率与流量的关系是一致的.这说明计数率随流量升高而降低的实质是通过时间随流量的升高而减少.这是计数率随流量的变化而变化的原因之一.

表 5 根据流量与格值计算的通过时间

格值/[格·min ⁻¹]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
流量/[L·min ⁻¹]	0.044	0.072	0.110	0.158	0.226	0.315	0.406	0.498	0.587	0.665	0.733	0.792
通过时间 T/min	11.364	6.944	4.546	3.165	2.212	1.587	1.232	1.004	0.852	0.752	0.682	0.631

此外,流通式源中的氡射气是由固封在源腔中的 ^{226}Ra 瞬时衰变产生的.一边产生一边被空气载入闪烁室.由于流量的增高引起流速增大,使气流中氡原子之间的距离变大,在每一时刻闪烁室内通过的氡原子数减少,也就是进入闪烁室的氡减少.这种减少等价于一定量的氡射气由于氡的衰变而引起的氡原子数的减少.根据放射性定律,放射性元素的衰变率服从下列公式^[1]:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

式(1)说明,某时刻发生衰变的氡原子数与氡的原子总数成正比,且服从指数衰减规律.因此实验结果应遵从指数衰减规律,即计数率随流量升高呈指数衰减.本文的实验

正是得出了这样的结果,说明实验结果是正确的.同时说明使用流通式源标定的可靠性.

正是由于氡射气在闪烁室中停留的时间短,计数率低, K 值就很大(和人工取样观测仪器的 K 值相比而言).

当在大流量的情况下观测时,计数率随流量的升高而逐渐稳定.因此,当流量较大(在 1 L/min 以上)时,可不考虑流量的影响.但由于发生衰变的氡原子数太少,所以观测误差很大.

3 对做好数字化测氡的几点认识

(1)在数字化测氡过程中,只有少部分氡原子在闪烁室中发生衰变,所以计数率很低,仪器 K 值比较大. K 值与流量有很大关系,当流量小于 1 L/min 时,不同的流量具有不同的 K 值.标定结果是一条随流量变化的曲线,而不是一个定值.因此数字化测氡仪器必须进行标定.

气体的流量在 K 值计算和资料使用中十分重要的意义,必须同时观测流量或者控制流量使之保持恒定.否则 K 值无法计算,资料也就无法使用.

值得注意的是,由于氡是气体,泉或井中氡含量的变化表现为气体总量的增减,从而引起流量的变化.但是实验结果表明,流量的变化引起计数率的反向变化,说明观测流程有自相矛盾的地方,这有可能抵消本来就十分微弱的地震信息.不论是溢出气还是脱出的溶解气都是包含氡在内的成份复杂的混合气体,能够影响流量和流速的因素比较多,它们都可能引起氡测量结果的变化.比如温度的升高引起水蒸气的增加,也会增加气体的总量,引起流量的升高,从而导致氡值的降低.解决的办法有2个:一是控制进入闪烁室的气体流量,使之保持恒定;二是对于不同的流量采用不同的 K 值.

(2)前已述及,人工取样观测是静态观测,而数字化测氡是动态观测,不能用静态的思路和方法来标定数字化测氡仪器,而应该用和实际观测一致的流通式氡气源来标定.否则,标定没有意义.

4 关于闪烁室的放射性污染问题

闪烁室的放射性污染是观测和资料使用人员共同关心的问题.其实氡的子体半衰期都比较短(RaA 为 3.05 min , RaB 为 26.8 min , RaC 为 19.7 min ...),尽管含氡气体连续不断地从闪烁室中通过,但在其中停留的时间都不长.和人工取样观测中氡在闪烁室中的放射性平衡不同,人工取样观测中氡进入闪烁室后,即开始有衰变发生并产生子体,子体也开始衰变,经过2个

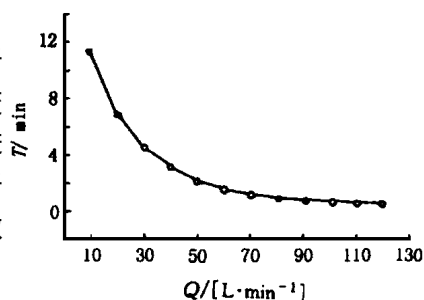


图4 通过时间与流量的关系

Fig. 4 Relation between lasting time and gas flow.

小时以后, 子体的增加和减少大体相等, 宏观上看来基本不变, 即所谓达到了放射性平衡; 而在数字化测氡中, 少部分氡发生衰变产生了子体 RaA, 其余的母体氡离开了闪烁室. RaA 在它产生的瞬间开始衰变, 并产生自己的子体. RaA 及其子体依次为 RaA—RaB—RaC 及 RaC'…RaG. 其中 RaB、RaD 只发生 β 衰变, RaC 和 99% 以上的 RaE 为 β 衰变, α 衰变的成份很小, 可以忽略. RaC' 的半衰期只有 $0.000\ 164\ \text{s}^{(2)}$, 可以认为它不能存活. 只有 RaA 和 RaF 主要为 α 衰变. 现以 RaA 为例进行分析如下:

为了方便, 取相等的时间段 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$. 假如在 t_1 时段进入闪烁室的 Rn 衰变产生的 RaA 的量为 m_1 ; 到 t_2 时段新进入的 Rn 衰变又产生新的 RaA, 其量值为 m_2 , 此时 m_1 已经部分发生了衰变; 至 t_3 时段又产生量值为 m_3 的 RaA, 而 m_1 进一步减少, m_2 也因衰变而减少. 如此继续至若干个半衰期 ($3.05\ \text{min}$) 后, 到 t_n 开始的时刻 m_1 已全部衰变, 闪烁室中 RaA 的数量成为定值, 此时 RaA 的总量如图 5 所示.

此后, 图中靠左侧不断地下降和消失, 右侧不断地产生, 图形的总面积保持不变. 即 RaA 的总量保持不变. 同理, RaF 经过一定的时间后其总量也保持不变, 也就是达到了放射性平衡. 所以, 不必考虑放射性污染问题. 甘肃河西地区几个数字化台站数年的观测实践已经证实了这一点.

以上只是笔者初步的实验结果和一些粗浅的认识, 还有待于进一步的研究和实验. 愿和同行专家共同研究和讨论. 更深入的实验和研究有待今后进一步开展.



图 5 平衡时 RaA 总量示意图
Fig. 5 Total count of RaA in balance state.

[参考文献]

[1] 卢希庭. 原子核物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1981.

EXPERIMENTAL STUDY ON DIGITAL MEASURE OF RADON

WU Yong-xin, CHEN Lan-qing, LI Tong-qí
(Lanzhou Institute of Seismology, CSB 730000, China)

Abstract: The real process of digital measure of radon is simulated by flow through radon gas source. The experimental study on the instrument standardization and each procedure of digital measure of radon is made. It was found that count rate reduces while gas flowing rate increases. This fact can be explained by the lasting time of gas in the scintillation chamber. Some conclusions are drawn; instrument of the digital measure of radon must be standardized and only standardized by flow through radon gas source; gas flux of entering the scintillation chamber should be controlled or measured in the process of digital measure of radon. In addition, the radio contamination in scintillation chamber is analyzed.

Key words: Radon measure; Digital measure of radon; Experimental study